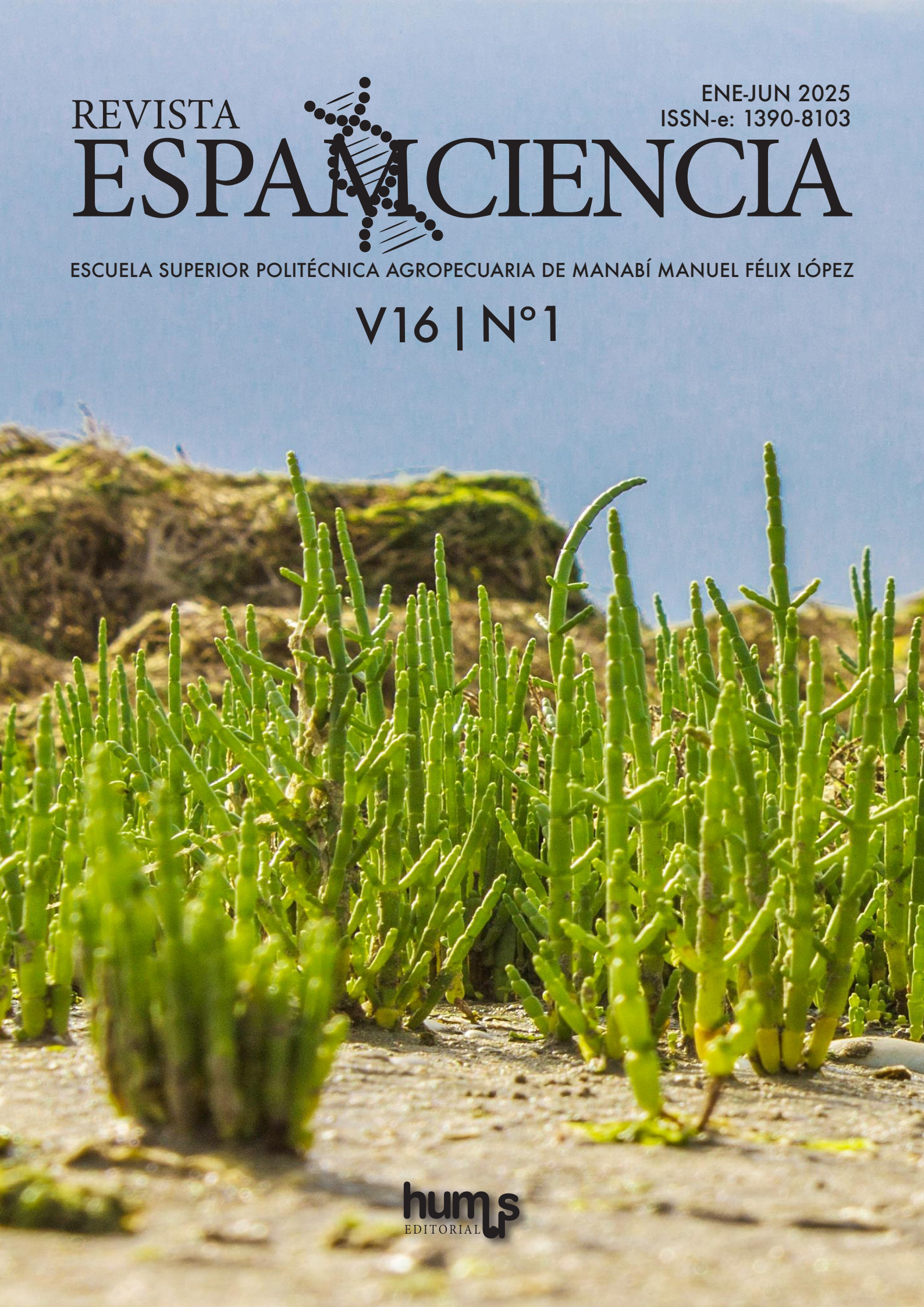
ENE-JUN 2025
ISSN-e: 1390-8103

REVISTA ESPAMCIENCIA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ

V16 | N°1



humus EDITORIAL

REVISTA ESPAMCIENCIA

16
Nº1
2025

Potencial biotecnológico de salicornias en Ecuador: una revisión al establecimiento agrícola y sus propiedades terapéuticas

Biotechnological potential of salicornias in Ecuador: a review of agricultural establishment and therapeutic properties

Jaime Naranjo-Moran[1]
Juan Pablo Peñarreta-Tivillin[2]
Jairo Jaime-Carvajal[1]
Gianella Muñoz-Ricaurte[1]
José Luis Ballesteros-Lara[1]

[1]Universidad Politécnica Salesiana, UPS, Grupo de Investigación en Aplicaciones Biotecnológicas, GIAB, Carrera de Biotecnología, Campus María Auxiliadora, kilómetro 19.5 Vía a La Costa, CP 090901. Guayaquil, Ecuador
[2]Instituto Universitario Italiano de Rosario, Facultad de Salud y Escuela de Postgrado, Crespo 843 CP 2002. Rosario, Argentina.

Autor de correspondencia: jnaranjo@ups.edu.ec

Revista ESPAMCIENCIA
ISSN: 1390-8103

CC BY NC SA

VOL.16(1):1-12
DOI: 10.51260/revista_espamciencia.v16i1.512
Fecha de recepción: 14 de noviembre de 2024
Fecha de aceptación: 06 de febrero de 2025
Fecha de publicación: 14 de febrero de 2025

Potencial biotecnológico de salicornias en Ecuador: una revisión al establecimiento agrícola y sus propiedades terapéuticas

Biotechnological potential of salicornias in Ecuador: a review of agricultural establishment and therapeutic properties

Resumen

El objetivo de la revisión fue analizar la factibilidad del establecimiento productivo de las especies de salicornias en Ecuador, con la finalidad de contribuir a la bioprospección de plantas de interés alimentario y farmacéutico. Las salicornias contienen compuestos bioactivos como fenoles, esteroles y ácidos grasos insaturados, que les confieren propiedades terapéuticas significativas, incluyendo efectos diuréticos, depurativos, antiosteoporóticos, anticancerígenos y antihiperglucémicos. Además, aunque la interacción con microorganismos benéficos es limitada, esta puede mejorar el crecimiento y la resistencia de las salicornias en condiciones de alta salinidad. En conclusión, el establecimiento agroproductivo de salicornias en Ecuador es factible y sostenible, ofreciendo oportunidades para la investigación en las industrias alimentaria, farmacéutica, agrícola y ambiental, esto contribuye al desarrollo de las comunidades rurales mediante la creación de bioproductos beneficiosos para los consumidores.

Palabras clave: Agricultura biosalina, halófitas, metabolitos secundarios, salicornia.

Abstract

The objective of the review was to analyze the feasibility of the productive establishment of salicorn species in Ecuador, with the aim of contributing to the bioprospecting of plants of food and pharmaceutical interest. Salicornias contain bioactive compounds such as phenols, sterols and unsaturated fatty acids, which confer them significant therapeutic properties, including diuretic, depurative, anti-osteoporotic, anticancer and antihyperglycemic effects. In addition, although interaction with beneficial microorganisms is limited, it can improve the growth and resistance of salicornias under high salinity conditions. In conclusion, the agro-productive establishment of salicornias in Ecuador is feasible and sustainable, offering opportunities for research in the food, pharmaceutical, agricultural and environmental industries, contributing to the development of rural communities through the creation of beneficial bioproducts for consumers.

Keywords: Biosaline agriculture, halophytes, secondary metabolites, salicornia.

INTRODUCCIÓN

La diversificación de la producción agrícola de Ecuador es primordial para el crecimiento económico, cultivar la tierra requiere de conocimientos, tecnologías y métodos biotecnológicos innovadores que faculten la producción de alimentos saludables. No obstante, las problemáticas radican en el incremento de tierras improductivas a causa de la sobreexplotación de los suelos e incremento de salinidad (1). La salinidad de los suelos afecta la productividad de las plantas cultivadas, debido a la toxicidad ocasionada por el cloruro de sodio y otras combinaciones de sales de alto poder alcalino (2). Las sales limitan la aireación del suelo, el flujo continuo del agua y las malas prácticas agrícolas fortalecen la problemática de los bajos rendimientos productivos, en particular, los suelos de tipo aridisoles ubicados en el perfil costero de Ecuador (3).

En los suelos salinos, los cultivos convencionales requieren condiciones específicas y de alta calidad para alcanzar su rendimiento óptimo. Sin embargo, estas condiciones son difíciles de mantener, lo que limita la producción, especialmente los cultivos ubicados cerca del mar, donde la salinidad del suelo suele ser más elevada. Una oportunidad para los suelos de tipo aridisol con alta alcalinidad son los cultivos halófitos. Las plantas halófitas tienen la capacidad de crecer en suelos con altas concentraciones de sales, estas se encuentran adaptadas a zonas de marismas, orillas de playas, desembocaduras al mar y cercanos a los ecosistemas de manglar (4).

Las plantas halófitas desempeñan un papel muy importante en los ecosistemas costeros, ya que pueden regular concentraciones tisulares altas de Na+ y Cl-(5), las hojas y semillas de las plantas halófitas, ricas en nutrientes, son aptas para el consumo humano y pueden comercializarse como verduras (6). La población en general necesita alimentos innovadores, de allí, que nuevas plantas son estudiadas y caracterizadas en su composición química para desarrollar alimentos o productos terapéuticos.

Las plantas llamadas salicornias son plantas halófitas suculentas (*Amaranthaceae*) con una amplia diversidad genética en zonas costeras (7). Lo que explica una utilización etnobotánica importante por las poblaciones circundante a los perfiles costeros, en el perfil fitoquímico de estas plantas se han determinado diversos compuestos tales como: fenoles, esteroles, ácidos grasos insaturados, aminoácidos, fibras y minerales. De este modo, es posible tratamientos terapéuticos por sus propiedades diuréticas, depurativas, anti-osteoporóticas anticancerígenas y antihiperglucémicas (8, 9, 10, 11).

Las plantas de salicornias se cultivan en marismas saladas costeras o en interiores litorales con altos contenidos de sales (12). Las comunidades microbianas del suelo son susceptibles a las perturbaciones en superficies salinas. Dado su papel crucial en los procesos biogeoquímicos de suelos agrícolas salinizados, son esenciales para mantener un agroecosistema salino saludable y apto para el cultivo de salicornia, en estos suelos se han encontrado microorganismos tales como; *Actinobacteria, Chloroflexi, Acidobacteria, Planctomycetes* entre otros (13). Los hongos como *Aspergillus sydowii* (14) y micorrizas se han utilizado en consorcios que han favorecido el desarrollo de las plantas a estas condiciones extremas de alcalinidad (15).

A pesar de que la interacción con microorganismos benéficos, esta interacción es muy baja en *Chenopodiaceae*, como las salicornias en su interacción con micorrizas arbusculares siendo este alrededor del 1% (16). Los beneficios para la planta son múltiples, por ejemplo, al inocular *Funneliformis mosseae* se proporciona mayor acumulación de antioxidantes a nivel enzimático y de osmolitos lo que permite una mejor absorción de nutrientes esenciales (15). Ecuador alberga diversos ecosistemas con una rica variedad de especies vegetales de gran importancia y valor nutritivo. Entre ellas, destacan las salicornias nativas, como *Salicornia fruticosa*, registrada por la Fundación Charles Darwin, y la especie endémica *Mangleticornia ecuadorensis* (17).

Especies que se pueden estudiar e investigar por su adaptación y desarrollo en los ecosistemas costeros para una explotación agrícola responsable, como aporte al desarrollo de las comunidades rurales. *Salicornia procumbens* tiene patrones naturales de crecimiento en canales de drenajes, montículos sedimentarios y marismas naturales (18). El objetivo de la presente revisión fue analizar la factibilidad del establecimiento productivo de las especies de salicornias en Ecuador, con la finalidad de contribuir a la bioprospección de plantas de interés alimentario y farmacéutico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de realizar una revisión crítica de artículos científicos, se recopiló información de bases de datos como Springer, PubMed, SciELO y Google Académico. Esta búsqueda se enfocó en obtener documentos especializados en el estudio de especies vegetales del género *Salicornia spp.* en los campos de agricultura, medicina y química, la búsqueda de información se realizó en la Universidad Politécnica Salesiana, accediendo a la plataforma de biblioteca científica institucional y bases de datos virtuales que incluyen miles de documentos académicos. Para las búsquedas de información se utilizaron las palabras claves como “salicornia”, “planta halófita”, “aridisol + salicornia”, “sal vegetal”, “halófita perenne”, “metabolitos secundarios” y “propiedades terapéuticas”. La selección de artículos fue limitada para artículos científicos publicados en idioma inglés y español en los últimos 10 años (2014 a 2024), con el objeto de mostrar las oportunidades de producción agrícola y de investigación local e internacional para su establecimiento en Ecuador.

Se realizó un fichaje crítico para comprender las tendencias del cultivo de plantas halófitas para su posible establecimiento agrícola en zonas costeras en el Ecuador (19).

Se realizó un análisis de datos para determinar si los microorganismos juegan un rol importante para una agricultura biosalina de salicornia en Ecuador. Se utilizó una prueba de Chi Cuadro (Estadístico Chi-Cuadrado: 4.694; (Gl): 5; Valor-P: 0.4544), se utilizó el software Statgraphics para conocer si existe una asociación significativa entre el tipo de ecosistema en el que crece la salicornia y la presencia o ausencia de microbiota adyacente con base a 20 observaciones encontradas en los documentos científicos.

Unas de las salicornias más representativas en las costas sudamericanas es la especie *Salicornia fruticosa*, esta planta halófita perenne, ha sido conocida por su notable adaptación a ambientes salinos (https://ecuador.inaturalist.org/taxa/792837-Salicornia-fruticosa). Se caracteriza por sus tallos suculentos y ramificados, que le permiten almacenar agua y resistir condiciones de sequía (figura 1). Esta especie, que puede alcanzar hasta 1,5 metros de altura, presenta una coloración verde que varía según la salinidad del suelo, pudiendo tornarse rojiza en ambientes muy salinos.

Sus flores son diminutas y se agrupan en espigas, y sus semillas están adaptadas para dispersarse en ambientes costeros. *S. fruticosa* juega un papel ecológico relevante a la estabilización de suelos salinos y es una fuente potencial de nutrientes y compuestos bioactivos (20).

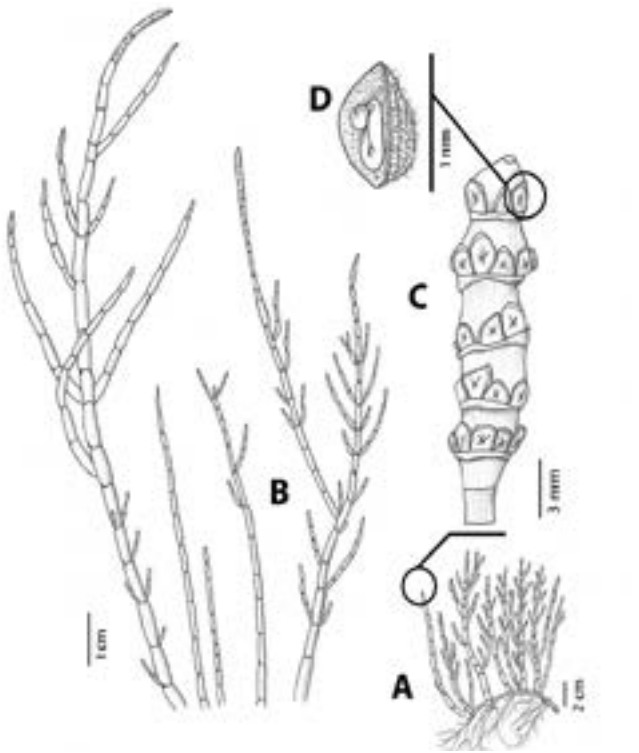


Figura 1. Características morfológicas principales de la planta de *Salicornia fruticosa* (*Amaranthaceae*); A) Silueta de planta herbácea halófita, B) Estructura de los tallos erectos, C) Inflorescencia de tipo cima triflora con flores sésiles, D) Flor carente de pedicelo unida al tallo. Dibujo realizado por el autor Jaime Naranjo-Moran.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistemas de producción con plantas halófilas

En el establecimiento de cultivos halófitos de salicornias se recomienda considerar la regulación osmótica natural o inducida, ajustado estacionalidad ambiental del ecosistema (21). Las plantas de salicornias en altas condiciones salinas generan ácido shikímico, vitamina K1 y el ácido indol-3-carboxílico para contrarrestar las especies reactivas de oxígeno (22). Por otra parte, la cobertura vegetal contribuye a una alta recuperación de los suelos salinos en zonas costeras (23). Por ejemplo, las plantas de *S. europaea* mantienen niveles notables de las relaciones Ca/Na y Na/K, adaptadas inclusive al riego con aguas residuales en condiciones hipóxicas, estas pueden desarrollarse mejorando la calidad del suelo y del agua (24). En zonas de mareas fangosas y aguas saladas es posible un cultivo salino alternativo para la fitorremediación de sales en humedales artificiales que puede ayudar a la descontaminación del agua al poseer microorganismos endófitos como *Bacillus spp, Planococcus rifietoensis, Variovorax paradoxus, Arthrobacter agilis* (25). Por otra parte, la especie *Sarcocornia perennis* acumula altos niveles de Cu en los tejidos subterráneos obteniendo un factor de bioacumulación mayor a 1 y muestran una baja translocación de Cu en las partes aéreas (26). Lo que indica que son especies que se pueden consumir con mucha seguridad, aunque se encuentre en un ambiente contaminado. La presencia elevada de Pb y Zn en la parte aérea de *S. europaea* sugiere que esta utilizó la fitoextracción para remover dichos metales. En contraste, otras salicornias emplean por la fitoestabilización en sus raíces para inmovilizar Cu, Ni y Cd (27). Las salicornias, con su notable tolerancia a la salinidad, emerge como una aliada clave en la fitorremediación, integrando la limpieza de aguas y suelos contaminados en ecosistemas costeros, transformando desafíos ambientales en oportunidades para la restauración y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícolas.

Se ha demostrado que la aplicación de extractos de algas, junto con fertilizantes N, P y K, incrementa el rendimiento y la nutrición de salicornia, incluso con altas concentraciones de agua de mar (28). Si bien esta capacidad contrasta con la sensibilidad de cultivos convencionales, es crucial considerar que el desarrollo vegetativo de salicornia también varía entre ecotipos. Esta variabilidad intrínseca plantea interrogantes sobre su metabolismo fotosintético, abriendo nuevas vías de investigación (29). Un reto nuevo para el Ecuador con cultivos alternativos halófitos, dado que desde siempre han sido utilizados los perfiles costeros para camaroneras, conservación y turismo. Las dificultades de desarrollar sistemas agrícolas halófitos se concentran en la selección de genotipos adaptados o aclimatados de salicornias, tipo de siembra y germinación por el grado de alcalinidad y por último las limitaciones por actividades antrópicas en el perfil costero que pueden incrementar los costos de producción (30).

El Ecuador, con su diversidad de ecosistemas, enfrenta

desafíos crecientes en la producción agrícola, debido a la salinización de suelos y la escasez de agua dulce. En este contexto, las plantas halófitas, capaces de prosperar en ambientes salinos, emergen como una alternativa prometedora para el desarrollo de la agricultura biosalina. Sin embargo, el éxito de estas plantas no reside únicamente en sus adaptaciones fisiológicas, sino también en la compleja interacción con su microbiota asociada.

El estudio del microbioma de plantas halófitas se presenta como una herramienta fundamental para comprender y potenciar su capacidad de crecimiento y productividad en suelos salinos. Estos microorganismos, que incluyen bacterias y hongos, desempeñan roles cruciales en la nutrición, la tolerancia al estrés salino y la protección contra patógenos. Para determinar si existe una relación intrínseca con el microbioma adyacente en su adaptación mediante el fichaje crítico de artículos científico se identificó que las plantas halófitas de salicornias se encuentran en distintos tipos de ecosistemas costeros y salinos alrededor de todo el mundo y se ha estudiado con relación a su microbiota adyacente (Tabla 1).

Tabla 1. Ecosistemas de salicornias investigadas y su microbiota adyacente para su establecimiento agrícola

Especies de salicornias	Fichaje crítico		
	Tipo de ecosistemas	País de origen	Referencias
Salicornia europaea L.	Humedales costeros	China	(31, 32)
Salicornia brachiata Roxb.	Zonas costeras	India	(33, 34)
Salicornia neei Lag.	Zonas costeras	Argentina	(35)
Salicornia ramosissima J. Woods	Marismas	España	(36)
Salicornia iranica Akhani.	Lago salobre	Irán	(37)
Salicornia patula Duval-Jouve.	Río salobre	España	(38; 39)
Salicornia bigelovii (Torr.)	Playa	China	(40)
Salicornia herbacea L.	Zonas costeras	Corea	(41)
Salicornia procumbens Sm.	Marismas	Países Bajos	(18)
Salicornia arabica (SAPS)	Zonas costeras	Túnez	(42; 43)
Salicornia gaudichaudiana Moq.	Humedales costeros	Brasil	(44)
Salicornia veneta (Pignatti et Lausi)	Marismas	Italia	(45)
Salicornia sinus-persica Akhani.	Playa	Emiratos Árabes Unidos	(46)
Salicornia persica Akhani.	Zonas costeras	Irán	(47)
Salicornia dolichostachya S.F.Blake	Río salobre	Países Bajos	(48)
Salicornia fragilis Ball & Tutin	Marismas	Francia	(49)
Salicornia fruticosa (L.) L.	Zonas costeras	Chile	(20)
Mangleticornia ecuadorensis P.W. Ball, G. Kadereit & Cornejo.	Zonas costeras y humedales	Ecuador	(17)

Como resultado de la prueba de Chi Cuadrado para el microbioma asociado a la producción de salicornias, en su distribución tan solo el 30% de las salicornias tienen microbiota adyacente presente, el resto aún se desconoce o no se ha estudiado (70%). En particular, las bacterias promotoras del crecimiento en plantas de *S. ramosissima* aporta con un 50% de adaptación al clima cálido (50). El ecosistema con mayor presencia de microbiota adyacente son las zonas costeras con cuatro casos, seguido de los humedales costeros y las marismas tienen una presencia mínima de microbiota adyacente con un caso cada uno, para el resto de los ecosistemas no se encontró microbiota adyacente presente.

Plantas de inoculadas con bacterias estimulantes de crecimiento vegetal son una mezcla idónea para la fitorremediación de ecosistemas salinos (36). Estas observaciones mantienen implicaciones valiosas debido a que el tipo de ecosistema puede no ser un factor crítico en la producción de salicornia en Ecuador, lo que podría influir en la toma de decisiones en la ubicación y estrategia de cultivo, además, pese a la falta de asociación significativa, se observa que existe una mayor cantidad y calidad de microbiota en las zonas costeras de los países analizados, lo que siguiere que Ecuador podría ser un escenario idóneo para la búsqueda de nuevos microorganismos halófitos y estudios de establecimiento agrícola biosalino de salicornia ofreciendo oportunidades para investigaciones futuras.

Producción de biomasa para la postcosecha de salicornia

La postcosecha de la biomasa de salicornia requiere condiciones del suelo óptimas para asegurar una mayor extracción de sales presentes en la planta. El contenido de humedad, la materia orgánica y el azufre elemental afecta el contenido de Na y Cl en los tejidos vegetales (51), dado que la aplicación de actino bacterias halotolerantes pueden utilizarse para incrementar el rendimiento de los cultivos de salicornia hasta en un 79,7% previo a la postcosecha en áreas costeras áridas (52). Las plantas

cultivadas de *Salicornia ramosissima* muestra una mejor respuesta de niveles antioxidantes y nutricionales en niveles intermedios de salinidad de 110 a 200 mM de NaCl (53).

La alta salinidad produce acumulación de NH_4+ y puede causar fitotoxicidad más que el NaCl (54). Las investigaciones de esta especie al proceso de secado muestran que cambia la composición química de la planta (55). Lo que sugiere dos tipos de consumo a la postcosecha de biomasa fresca y biomasa seca como ingrediente o aditivo natural. La diversidad genética de morfotipos silvestres y cultivares pueden ser parte de programas de mejoras de los cultivos (56), el indagar las oportunidades de producción de salicornias en Ecuador son fundamentales para el desarrollo de emprendimientos culinarios.

Fitoquímicos de salicornias y sus tratamientos terapéuticos

La bioactividad de los extractos crudos o fracciones de plantas de salicornia es notable. Por ejemplo, *Salicornia europaea* exhibe una amplia gama de propiedades terapéuticas, incluyendo efectos antioxidantes, antidiabéticos, citotóxicos, antiinflamatorios y antiobesidad. Por otra parte, *Salicornia herbacea* posee propiedades antiosteoartríticas, antihipercolesterolémicas, citotóxicas, antitumorales, hipoglucemiantes, antioxidantes, antimutagénicas (57) y antiinflamatorias para la producción de fitofármacos a partir de compuestos activos que contengan ácido 3-cafeoil-4-dihidrocaffeoil quínico (CDQ) e isorhamnetina 3-O-β-d-glucopiranósido (IDG) (58) (Tabla 2).

Tabla 2. Plantas de salicornias y sus actividades terapéuticas

Especies de salicornias	Fichaje crítico		
	Principios activos	Actividad terapéutica	Referencia
Salicornia europaea	Saponinas triterpenoides de oleanano, derivados del ácido cafeoilquínico, flavonoides, cromonas, esteroles, lignanos y compuestos alifáticos	Antitumorales, antitumorales, antiproliferativo, antioxidante, antimicrobianas, anticonvulsivas, antivirales, antiinflamatorias, antiateroscleróticas, inmunoestimuladoras, antidiabéticas, cardioprotectoras, hepatoprotectoras, anticancerígenas, antihepatocarcinomas, neuroprotectores, antidiabético.	(11, 59)
Salicornia herbacea	Flavonoide glucopiranósido, isorhamnetina 3- O -β-D-glucopiranósido	Antiobesidad, antiinflamatorias, antioxidantes	(60, 58, 61)
Salicornia neei	Flavonoide, arabinoxilanos	Antioxidantes	(36)
Salicornia brachiata	Oximetina, surfactina	Antimicrobiano	(33)
Salicornia bigelovii	Saponina nortriterpénica, el ácido 3-O-β-d-glucuronopiranosil-30-norolea-no-12,20(29)-dien-23-oxo-28-oico	Antifúngico	(40)
Salicornia ramosissima	Tiamina, Piridoxina, luteína carotenoides, ácidos grasos n-3	Antioxidante, antimicrobiano y nutraceútico	(53, 62)
Salicornia arabica	Arabinosa, glucopiranosa galactosa, ácido glucurónico y glucosa	Antioxidante, antimicrobiano	(42)

En pruebas con ratas se ha observado que el ácido cafeoilquínico contribuye al efecto antioxidante (63). Las ramas frescas de *Salicornia ramosissima* tiene altos contenidos de ácidos grasos omega-3 (62). *Salicornia arabica* contiene un importante poder antimicrobiano (*Escherichia coli* (ATCC 8739), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC9027), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Listeria ivanovii* (BUG49), y *Bacillus subtilis* (ATCC6633), una cepa de levadura *Candida albicans* (ATCC 90028) y cepas de hongos como *Fusarium phyllophilum* y *Fusarium oxysporum*) y además capacidad antioxidante (42). Los metabolitos de *Salicornia bigelovii* muestra una actividad citotóxica moderada contra líneas celulares carcinoma de mama, hígado, pulmón y leucemia promielocítica (64). El ácido coriólico extraído de *Salicornia herbacea* podría contribuir de forma específica al tratamiento del cáncer de mama (65). Además, la salicornia herbácea previene el aumento de peso y la acumulación de lípidos hepáticos, siendo de esta manera la salicornia un potencial agente natural contra la obesidad que puede usarse en lugar de NaCl (66).

Salicornias como alimento funcional

A nivel mundial, la inseguridad alimentaria amenaza con dietas insuficientes a una proporción significativa de la población. Una de las causas radica en el desconocimiento y subutilización de plantas con valiosos com-

ponentes dietéticos. Ante esta problemática, salicornia emerge como una opción alimentaria prometedora, gracias a su riqueza en nutrientes funcionales como fibras, flavonoides y polifenoles (67). El vegetal marino (salicornia) revela importancia culinaria, contribuye con su propiedad inmunomodulador, hipolipemiante, antiproliferativo, osteoprotector e hipoglucemiante (67). El consumo de salicornias como alimento funcional se considera importante, dado que el conocimiento adquirido hasta la actualidad se ha incrementado a consecuencia de los estudios nutricionales y actividad antioxidante (53).

La planta de *Salicornia europaea* puede utilizarse como un alimento funcional efectivo para trastornos neuroinflamatorios (68). Estudios sobre esta especie identifican que la ingesta de sal vegetal previene la aparición y mejora el estado de la enfermedad de hipertensión arterial, dado que contienen 5-(hidroximetil) furfural, ácido p -cumárico, ácido trans -ferúlico y trans-El ácido ferúlico este último responsable de protección vascular (69). *Salicornia patula* también ha sido validada como alimento funcional, debido a la concentración de compuestos fenólicos y ácidos grasos que le confiere propiedades terapéuticas de importancia (39).

En tiempos de inseguridad alimentaria las diferentes especies de salicornias surgen como un alimento funcional para combatir el hambre y no deberían desaprovecharse (67), en particular en países con desnutrición crónica infantil como en el Ecuador. Una investigación evaluó la fermentación de la col blanca reemplazando la sal común por la *Salicornia ramosissima* para así reducir el contenido de sodio en sus productos finales, demostrando que la fermentación de repollo con el agregado de salicornia logra una reducción de sodio y también un aumento de la actividad antioxidante (70). *S. ramosissima* está disponible en suplementos dietéticos, debido a los ácidos fenólicos, flavonoides y otros compuestos aportan contra el desarrollo de la neurodegeneración cerebral post-isquémica (71).

Salicornia también proporciona productos con un valor agregado mediante sus semillas, de donde se pueden obtener aceites comestibles que son bajos en colesterol y ricos en antioxidantes (72). Las salicornias poseen actividades antitumorales, antihipertensivas, antibacterianas, neuroprotectoras y antidiabéticas, la cantidad de compuestos fenólicos varia de 1,2 a 2 mg/GAE en salicornia, lo que convierte a esta especie vegetal como una fuente importante de principios activos (73).

Otras aplicaciones biotecnológicas de salicornias

Las plantas de salicornias pueden ser utilizadas en el campo de la biorremediación para la fitoestabilización de Cu, Ni y Cd en suelo contaminados (27). La planta *Salicornia europaea* tiene una alta capacidad de acumulación de Cd, Pb y Li, lo que permitiría remediar agentes contaminantes en suelos alcalinos (74). La especie *Salicornia iranica* es una especie representativa para fitoremediar suelos contaminados con Ni (75).

Estudios revelan que la en plantas de *Salicornia patula* pueden acumular altos contenidos de Na, K, Ca, Mg, Fe y Sr (38). Además, las halófitas tolerantes al NaCl presentan un gran potencial tanto para la biorrefinería como para la agricultura en suelos salinos. Su cultivo puede aumentar el valor de tierras marginales, al ofrecer una fuente biológica que podría sustituir compuestos derivados de la industria petroquímica (76). La planta de *Salicornia bigelovii*, ofrece múltiples posibilidades de aprovechamiento, incluyendo su uso como forraje, alimento para personas, ingredientes para productos de belleza, fuente para la producción de biocombustibles y la elaboración de comprimidos a partir de su biomasa deshidratada (77).

CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas sobre el establecimiento agrícola y las propiedades terapéuticas de las salicornias han demostrado varias aportaciones concretas al conocimiento agropecuario como cultivo alternativo de carácter biosalino en Ecuador. En primer lugar, se ha comprobado la viabilidad del cultivo de salicornias en suelos salinos del perfil costero ecuatoriano, lo que permite un uso sostenible de tierras marginales y la recuperación de suelos degradados.

Los resultados indican que las salicornias pueden crecer en condiciones de alta salinidad, al aportar con la mejora de la calidad del suelo y del agua mediante la regulación de las relaciones Ca/Na y Na/K. Además, se ha identificado que las salicornias poseen una composición fitoquímica rica en compuestos bioactivos como fenoles, esteroles y ácidos grasos insaturados, que les confieren propiedades terapéuticas significativas. Los estudios han demostrado que estas plantas tienen efectos diuréticos, depurativos, antiosteoporóticos, anticancerígenos y antihiperglucémicos, lo que abre oportunidades para el desarrollo de productos farmacéuticos y nutracéuticos.

Por último, se ha evidenciado que la interacción con microorganismos benéficos, aunque limitada, puede mejorar el crecimiento y la resistencia de las salicornias en condiciones extremas de salinidad, oportunidad biotecnológica de bioprospección agrícola. La inoculación con hongos micorrízicos, por ejemplo, ha mostrado aumentar la acumulación de antioxidantes y la absorción de nutrientes esenciales, las salicornias tienen un alto potencial biotecnológico que debe aprovecharse para aplicaciones agrícolas, ambientales y terapéuticas en Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dejar la constancia de su agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana en su proyecto de investigación asociado denominado “Caracterización fitoquímica mediante cromatografía líquida (HPLC) de especies representativas en el remanente boscosos del campus María Auxiliadora” FITOQUÍMICA con Resolución No. 0122-006-2023-11-07.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no poseen conflictos de intereses.

LITERATURA CITADA

1. Mukhopadhyay R, Sarkar B, Jat HS, Sharma PC, & Bolan NS. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. Journal of environmental management. 2021; 280:111736. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736
2. Abdel-Farid IB, Marghany MR, Rowezek MM, & Sheded MG. Effect of Salinity Stress on Growth and Metabolomic Profiling of Cucumis sativus and Solanum lycopersicum. Plants (Basel, Switzerland). 2023;9(11):1626. https://doi.org/10.3390/plants9111626
3. Calle P, Monserrate L, Medina F, Calle Delgado M, Tirapé A, Montiel M, Ruiz Barzola O, Cadena OA, Dominguez GA, & Alava JJ. Mercury assessment, macrobenthos diversity and environmental quality conditions in the Salado Estuary (Gulf of Guayaquil, Ecuador) impacted by anthropogenic influences. Marine pollution bulletin. 2018; 136:365–373. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.018
4. Slowey NC & Pinto EB. Conjunto de datos de salinidad e isótopos estables para las aguas del estuario del Guayas. Datos en breve. 2021; 35:106776. https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106776
5. Flowers TJ, & Colmer TD. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. Annals of botany. 2015; 115(3):327–331. https://doi.org/10.1093/aob/mcu267
6. Song J, & Wang B. Using euhalophytes to understand salt tolerance and to develop saline agriculture: Suaeda salsa as a promising model. Annals of botany. 2015; 115(3):541–553. https://doi.org/10.1093/aob/mcu194
7. Zeinalabedini M, Khoshkholgh Sima NA, Ghaffari MR, Ebadi A, & Farsi M. Application of DNA barcodes and spatial analysis in conservation genetics and modeling of Iranian Salicornia genetic resources. PloS one. 2021; 16(4):e0241162. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241162
8. Jha B, Singh NP, & Mishra A. Proteome profiling of seed storage proteins reveals the nutritional potential of Salicornia brachiata Roxb, an extreme halophyte. Journal of agricultural and food chemistry. 2012; 60(17):4320–4326. https://doi.org/10.1021/jf203632v
9. Mishra A, Joshi M, & Jha B. Oligosaccharide mass profiling of nutritionally important Salicornia brachiata, an extreme halophyte. Carbohydrate polymers. 2013; 92(2):1942–1945. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.055
10. Isca VM, Seca AM, Pinto DC, Silva H, & Silva AM. Lipophilic profile of the edible halophyte Salicornia ramosissima. Food chemistry. 2014; 165: 330–336. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.117
11. Kim S, Lee EY, Hillman PF, Ko J, Yang I, & Nam SJ. Chemical Structure and Biological Activities of Secondary Metabolites from Salicornia europaea L. Molecules (Basel, Switzerland). 2021; 26(8): 2252. https://doi.org/10.3390/molecules26082252
12. Flowers TJ, & Colmer TD. Salinity tolerance in halophytes. The New phytologist. 2008; 179(4):945–963. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x
13. Li X, Wang A, Wan W, Luo X, Zheng L, He G, Huang D, Chen W, & Huang Q. High Salinity Inhibits Soil Bacterial Community Mediating Nitrogen Cycling. Applied and environmental microbiology. 2021; 87(21):e0136621. https://doi.org/10.1128/AEM.01366-21
14. Pérez-Llano Y, Rodríguez-Pupo EC, Druzhinina IS, Chenthamara K, Cai F, Gunde-Cimerman N, Zalar P, Gostinčar C, Kostanjšek R, Folch -Mallol JL, Batista-García RA, & Sánchez-Carbente M. El estrés remodela la respuesta fisiológica de los hongos halófilos a la salinidad. Células. 2020; 9 (3): 525. https://doi.org/10.3390/cells9030525
15. Heydari S, & Pirzad A. Mycorrhizal Fungi and Thiobacillus Co-inoculation Improve the Physiological Indices of Lallemantia iberica Under Salinity Stress. Current microbiology. 2020; 77(9):2523–2534. https://doi.org/10.1007/s00284-020-02034-y
16. Sonjak S, Udovič M, Wraber T, Likar M, & Regvar M. Diversidad de halófitas e identificación de hongos micorrízicos arbusculares que colonizan sus raíces en una parte abandonada y sostenida de las salinas de Sečovlje. Biología y bioquímica del suelo. 2009; 41 (9):1847-1856. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.06.006
17. Ball PW, Cornejo X. & Kadereit G. Mangleticornia (Amaranthaceae: Salicornioideae): una nueva hermana de Salicornia de la costa del Pacífico de América del Sur. Willdenowia. 2017; 47 (2):145-153. https://doi.org/10.3372/wi.47.47206
18. Fivash GS, Belzen JV, Temmink R, Didderen K, Lengkeek W, Heide TV & Bouma TJ. La microtopografía elevada aumenta las tasas de crecimiento en Salicornia procumbens al amplificar una bomba de oxígeno impulsada por mareas: implicaciones para el reclutamiento y la restauración naturales. Anales de botánica. 2020; 125 (2):353–364. https://doi.org/10.1093/aob/mcz137
19. Regus F, Laffont-Schwob I, Hamrouni R, Dupuy N, & Farnet Da Silva AM. Using bibliometrics to analyze the state of art of pesticide use in vineyard agrosystems: A review. Environmental Science and Pollution

Research. 2022; 29(53):80123–80136. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23285-1

20. Rodríguez-Ramos F, Leiva-Portilla D, Rodríguez-Núñez K, Pacheco P, & Briones-Labarca V. Mathematical modeling and quality parameters of Salicornia fruticosa dried by convective drying. Journal of food science and technology. 2021; 58(2): 474–483. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04556-6

21. Furtado BU, Nagy I, Asp T, Tyburski J, Skorupa M, Gołębiewski M, Hulisz P, & Hrynkiewicz K. Transcriptome profiling and environmental linkage to salinity across Salicornia europaea vegetation. BMC plant biology. 2019; 19(1):427. https://doi.org/10.1186/s12870-019-2032-3

22. Lee SJ, Jeong EM, Ki AY, Oh KS, Kwon J, Jeong JH, & Chung NJ. Oxidative defense metabolites induced by salinity stress in roots of Salicornia herbacea. Journal of plant physiology. 2016; 206: 133–142. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.015

23. Zhang J, Cui SY, & Feng ZX. [Effects of Suaeda glauca planting and straw mulching on soil salinity dynamics and desalination in extremely heavy saline soil of coastal areas.]. Ying yong sheng tai xue bao. The journal of applied ecology. 2018; 29(5):1686–1694. https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201805.034

24. Khalilzadeh R, Pirzad A, Sepehr E, Khan S, & Anwar S. Soil fertility, chemical properties, and pollutant removal efficiency of Salicornia europaea in response to different times and duration of wastewater irrigation. Environmental monitoring and assessment. 2021; 193(6):360. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09148-1

25. Yasseen BT, & Al-Thani RF. Endophytes and Halophytes to Remediate Industrial Wastewater and Saline Soils: Perspectives from Qatar. Plants (Basel, Switzerland). 2022; 11(11):1497. https://doi.org/10.3390/plants11111497

26. Gibilisco PE, Negrin VL, & Idaszkin YL. Assessing the use of two halophytes species and seaweed composting in Cu-pollution remediation strategies. Marine pollution bulletin. 2022; 176: 113413. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113413

27. Khalilzadeh R, Pirzad A, Sepehr E, Khan S, & Anwar S. El potencial de Salicornia europaea para la fitorremediación de metales pesados en los suelos bajo diferentes tiempos de riego con aguas residuales en el noroeste de Irán. Investigación internacional sobre ciencias ambientales y contaminación. 2021;28 (34):47605–47618. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14073-4

28. El-Nwehy SS, Rezk AI, El-Nasharty AB, Nofal OA, & H Abdel-Kader H. Influences of Irrigation with Diluted Seawater and Fertilization on Growth, Seed Yield and Nutrients Status of Salicornia Plants. Pakistan journal of biological sciences: PJBS. 2020; 23(10): 1267–1275. https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.1267.1275

29. Araus JL, Rezzouk FZ, Thushar S, Shahid M, Elouafi IA, Bort J, & Serret MD. Effect of irrigation salinity and ecotype on the growth, physiological indicators and seed yield and quality of Salicornia europaea. Plant science: an international journal of experimental plant biology. 2021; 304:110819. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110819

30. Ventura Y, Eshel A, Pasternak D, & Sagi M. The development of halophyte-based agriculture: past and present. Annals of botany. 2015; 115(3):529–540. https://doi.org/10.1093/aob/mcu173

31. Wang X, Bai J, Wang W, Zhang G, Yin S, & Wang D. A comparative metabolomics analysis of the halophyte Suaeda salsa and Salicornia europaea. Environmental geochemistry and health. 2021; 43(3):1109–1122. https://doi.org/10.1007/s10653-020-00569-4

32. Furtado BU, Gołębiewski M, Skorupa M, Hulisz P, & Hrynkiewicz K. Bacterial and Fungal Endophytic Microbiomes of Salicornia europaea. Applied and environmental microbiology. 2019; 85(13): e00305-19. https://doi.org/10.1128/AEM.00305-19

33. Singh S, Ghadge VA, Kumar P, Mathew DE, Dhimmar A, Sahastrabudhe H, Nalli Y, Rathod MR, & Shinde PB. Biodiversity and antimicrobial potential of bacterial endophytes from halophyte Salicornia brachiata. Antonie van Leeuwenhoek. 2021; 114(5):591–608. https://doi.org/10.1007/s10482-021-01544-4

34. Yadav NS, Rashmi D, Singh D, Agarwal PK, & Jha B. A novel salt-inducible gene SbSI-1 from Salicornia brachiata confers salt and desiccation tolerance in E. coli. Molecular biology reports. 2012; 39(2):1943–1948. https://doi.org/10.1007/s11033-011-0941-9

35. Villarreal MR, Navarro DA, Ponce N, Rojas AM, & Stortz CA. Perennial halophyte Salicornia neei Lag.: Cell wall composition and functional properties of its biopolymers. Food chemistry. 2021; 350: 128659. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128659

36. Mesa-Marín J, Pérez-Romero JA, Redondo-Gómez S, Pajuelo E, Rodríguez-Llorent ID, & Mateos-Naranjo E. Impacto de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal en la ecofisiología de Salicornia ramosissima y la capacidad de fitorremediación de metales pesados en suelos estuarinos. Fronteras en microbiología. 2020; 11: 553018. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.553018

37. Kaviani E, Niazi A, Heydarian Z, Moghadam A, Ghasemi-Fasaei R, & Abdollahzadeh T. Fitorremediación de suelos contaminados con plomo por Salicornia iranica: mecanismos fisiológicos y moleculares clave Involucrado en la desintoxicación de Pb. Limpiar Suelo Aire Agua. 2017; 45: 1500964. https://doi.org/10.1002/clen.201500964

38. Sánchez-Gavilán I, Rufo L, Rodríguez N, & de la Fuente V. On the elemental composition of the Mediterranean euhalophyte Salicornia patula Duval-Jouve (Chenopodiaceae) from saline habitats in Spain (Huelva, Toledo and Zamora). Environmental

science and pollution research international. 2021; 28(3):2719–2727. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10663-w

39. Sánchez Gavilán I, Velázquez Ybarzabal D, de la Fuente V, Cámara RM, Sánchez-Mata MC, & Cámara M. Valorization of Salicornia patula Duval-Jouve Young Shoots in Healthy and Sustainable Diets. Nutrients. 2024; 16(3):358. https://doi.org/10.3390/nu16030358

40. Shan Y, Li H, Guan F, Chen Y, Yin M, Wang M, Feng X, y Wang Q. Triterpenoides de las Hierbas de Salicornia bigelovii. Molecules (Basilea, Suiza). 2015; 20 (11):20334–20340. https://doi.org/10.3390/molecules201119695

41. Cho ES, Cha IT, Park JM, Choi HJ, Lee JH, Roh SW, Cho EA, Kweon MH, Nam YD, & Seo MJ. Flavimarina flava sp. nov., isolated from Salicornia herbacea. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2017; 67(10):4240–4245. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002292

42. Hammami N, Gara AB, Bargougui K, Ayedi H, Abdalleh FB, & Belghith K. Improved in vitro antioxidant and antimicrobial capacities of polysaccharides isolated from Salicornia arabica. International journal of biological macromolecules. 2018; 120(Pt B): 2123–2130. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.052

43. Mapelli F, Marasco R, Rolli E, Barbato M, Cherif H, Guesmi A, Ouzari I, Daffonchio D. & Borin S. Potencial para la promoción del crecimiento vegetal de las rizobacterias asociadas con Salicornia que crece en suelos hipersalinos de Túnez. Investigación internacional de BioMed. 2013. p. 248078. https://doi.org/10.1155/2013/248078

44. Costa F, Borges RM, Leitão GG, & Jerz G. Preparative mass-spectrometry profiling of minor concentrated metabolites in Salicornia gaudichaudiana Moq by high-speed countercurrent chromatography and off-line electrospray mass-spectrometry injection. Journal of separation science. 2019; 42(8): 1528–1541. https://doi.org/10.1002/jssc.201801195

45. Trotta A, Barera S, Marsano F, Osella D, Musso D, Pagliano C, Andreucci F, & Barbato R. Isolation and characterization of a photosystem II preparation from thylakoid membranes of the extreme halophyte Salicornia veneta Pignatti et Lausi. Plant Physiology and Biochemistry. 2018; 132: 356-362. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.023

46. Alassali A, Cybulska I, Galvan AR, & Thomsen MH. Wet fractionation of the succulent halophyte Salicornia sinus-persica, with the aim of low input (water saving) biorefining into bioethanol. Applied microbiology and biotechnology. 2017; 101(4):1769–1779. https://doi.org/10.1007/s00253-016-8049-8

47. Ebadi A, Khoshkholgh Sima NA, Olamaee M, Hashemi M, & Ghorbani Nasrabadi R. Remediation of saline soils contaminated with crude oil using the halophyte Salicornia persica in conjunction with hydrocarbon-degrading bacteria. Journal of environmental management. 2018; 219:260–268. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.115

48. Katschnig D, Bliek T, Rozema J, & Schat H. Constitutive high-level SOS1 expression and absence of HKT1;1 expression in the salt-accumulating halophyte Salicornia dolichostachya. Plant science: an international journal of experimental plant biology. 2015; 234:144–154. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.02.011

49. Meudec A, Poupart N, Dussauze J, & Deslandes E. Relationship between heavy fuel oil phytotoxicity and polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in Salicornia fragilis. The Science of the total environment. 2007; 381(1-3):146–156. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.005

50. Duarte B, Carreiras J, Fonseca B, de Carvalho RC, Matos AR, & Caçador I. Improving Salicornia ramosissima photochemical and biochemical resilience to extreme heatwaves through rhizosphere engineering with Plant Growth-Promoting Bacteria. Plant physiology and biochemistry: PPB. 2023; 199: 107725. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107725

51. Pessoa L, Silva L, Freire M, Ferreira-Silva SL, Green C, de Melo HF, Fernandes JG, & Freire FJ. Effectiveness of soil conditioners to enhance salt extraction ability of Salicornia ramosissima in saline-sodic soil for different soil moisture contents. International journal of phytoremediation. 2021; 24(5):447-455. https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1952924

52. Mathew BT, Torky Y, Amin A, Mourad AI, Ayyash MM, El-Keblawy A, Hilal-Alnaqbi A, AbuQamar SF, & El-Tarabily KA. Halotolerant Marine Rhizosphere-Competent Actinobacteria Promote Salicornia bigelovii Growth and Seed Production Using Seawater Irrigation. Frontiers in microbiology. 2020; 11:552. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00552

53. Lima AR, Castañeda-Loaiza V, Salazar M, Nunes C, Quintas C, Gama F, Pestana M, Correia PJ, Santos T, Varela J, & Barreira L. Influence of cultivation salinity in the nutritional composition, antioxidant capacity and microbial quality of Salicornia ramosissima commercially produced in soilless systems. Food chemistry. 2020; 333:127525. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127525

54. Ma J, Cirillo V, Zhang D, Maggio A, Wang L, Xiao X, & Yao Y. Regulation of Ammonium Cellular Levels is An Important Adaptive Trait for the Euhalophytic Behavior of Salicornia europaea. Plants (Basel, Switzerland). 2020; 9(2):257. https://doi.org/10.3390/plants9020257

55. Oliveira-Alves SC, Andrade F, Prazeres I, Silva AB, Capelo J, Duarte B, Caçador I, Coelho J, Serra AT, & Bronze MR. Impact of Drying Processes on the Nutritional Composition, Volatile Profile, Phytochemical Content and Bioactivity of Salicornia ramosissima J. Woods. Antioxidants (Basel, Switzerland). 2021;

10(8):1312. https://doi.org/10.3390/antiox10081312

56. Zerai DB, Glenn EP, Chatervedi R, Lu Z, Mamood AN, Nelson SG & Ray DT. Potencial de mejora de Salicornia bigelovii mediante cría selectiva. Ingeniería Ecológica. 2010; 36 (5):730-739. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.01.002

57. Wang X, Zhang M, Zhao Y, Wang H, Liu T, & Xin Z. Pentadecyl ferulate, a potent antioxidant and antiproliferative agent from the halophyte Salicornia herbacea. Food chemistry. 2013; 141(3):2066–2074. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.043

58. Bahuguna A, Bharadwaj S, Bajpai VK, Shukla S, Won DW, Park I, Na M, Sonwal S, Huh YS, Han YK, Simal-Gandara J, Xiao J, & Kim M. Insights into cyclooxygenase-2 inhibition by isolated bioactive compounds 3-caffeoyl-4-dihydrocaffeoyl quinic acid and isorhamnetin 3-O-β-D-glucopyranoside from Salicornia herbacea. Phytomedicine: international journal of phytotherapy and phytopharmacology. 2021; 90:153638. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153638

59. Lee WJ, Shin YW, Kim DE, Kweon MH, & Kim M. Effect of desalted Salicornia europaea L. ethanol extract (PM-EE) on the subjects complaining memory dysfunction without dementia: a 12 week, randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. Scientific reports. 2020; 10(1):19914. https://doi.org/10.1038/s41598-020-76938-x

60. Kong CS, & Seo Y. Antiadipogenic activity of isohamnetin 3-O-β-D-glucopyranoside from Salicornia herbacea. Immunopharmacology and immunotoxicology. 2012; 34(6):907–911. https://doi.org/10.3109/08923973.2012.670643

61. Wang H, Xu Z, Li X, Sun J, Yao D, Jiang H, Zhou T, Liu Y, Li J, Wang C, Wang W, & Yue R. Extraction, preliminary characterization, and antioxidant properties of polysaccharides from the testa of Salicornia herbacea. Carbohydrate polymers. 2017; 176:99–106. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.04

62. Maciel E, Lillebø A, Domingues P, da Costa E, Calado R, & Domingues M. Polar lipidome profiling of Salicornia ramosissima and Halimione portulacoides and the relevance of lipidomics for the valorization of halophytes. Phytochemistry. 2018; 153: 94–101. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.05.015

63. Cho JY, Kim JY, Lee YG, Lee HJ, Shim HJ, Lee JH, Kim SJ, Ham KS, & Moon JH. Four New Dicaffeoylquinic Acid Derivatives from Glasswort (Salicornia herbacea L.) and Their Antioxidative Activity. Molecules (Basel, Switzerland). 2016; 21(8):1097. https://doi.org/10.3390/molecules21081097

64. Wang QZ, Liu XF. Shan Y, Guan FQ, Chen Y, Wang XY, Wang M, & Feng X. Two new nortriterpenoid saponins from Salicornia bigelovii Torr. and their cytotoxic activity. Fitoterapia. 2012; 83(4):742–749. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.02.013

65. Ko YC, Choi HS, Kim JH, Kim SL, Yun BS, & Lee DS. Coriolic Acid (13-(S)-Hydroxy-9Z, 11E-octadecadienoic Acid) from Glasswort (Salicornia herbacea L.) Suppresses Breast Cancer Stem Cell through the Regulation of c-Myc. Molecules (Basel, Switzerland). 2020; 25(21):4950. https://doi.org/10.3390/molecules25214950

66. Pichiah PB, & Cha YS. Salicornia herbacea prevents weight gain and hepatic lipid accumulation in obese ICR mice fed a high-fat diet. J Sci Food Agric. 2015; 95(15):3150-9. doi: 10.1002/jsfa.7054

67. Patel S. Salicornia: evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate. 3 Biotech. 2016; 6(1):104. https://doi.org/10.1007/s13205-016-0418-6

68. Karthivashan G, Park SY, Kweon MH, Kim J, Haque ME, Cho DY, Kim IS, Cho EA, Ganesan P, & Choi DK. Ameliorative potential of desalted Salicornia europaea L. extract in multifaceted Alzheimer's-like scopolamine-induced amnesic mice model. Scientific reports. 2018; 8(1):7174. https://doi.org/10.1038/s41598-018-25381-0

69. Panth N, Park SH, Kim HJ, Kim DH, & Oak MH. Protective Effect of Salicornia europaea Extracts on High Salt Intake-Induced Vascular Dysfunction and Hypertension. International journal of molecular sciences. 2016; 17(7):1176. https://doi.org/10.3390/ijms17071176

70. Pires-Cabral P, Pires-Cabral P, & Quintas C. Salicornia ramosissima as a salt substitute in the fermentation of white cabbage. J Food Sci Technol. 2022; 59: 597–605. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05047-y

71. Nájar AM, Romero-Bernal M, Del Río C, & Montaner J. A Review on Polyphenols in Salicornia ramosissima with Special Emphasis on Their Beneficial Effects on Brain Ischemia. Nutrients. 2023; 15(3):793. https://doi.org/10.3390/nu15030793

72. Kumar A, Abraham E, Gupta A. Alternative Biomass from Saline and Semiarid and Arid Conditions as a Source of Biofuels: Salicornia. In: Kumar, A., Ogita, S., Yau, YY. (eds) Biofuels: Greenhouse Gas Mitigation and Global Warming. Springer, New Delhi; 2018. p. 229-240. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3763-1_13

73. Limongelli F, Crupi P, Clodoveo ML, Corbo F, & Muraglia M. Overview of the Polyphenols in Salicornia: From Recovery to Health-Promoting Effect. Molecules (Basel, Switzerland). 2022; 27(22):7954. https://doi.org/10.3390/molecules27227954

74. Lou T, Lü S, & Li Y. Application potential of Salicornia europaea in remediation of Cd, Pb and Li contaminated saline soil, Sheng wu gong cheng xue bao. Chinese journal of biotechnology. 2020; 36(3): 481–492. https://doi.org/10.13345/j.cjb.190377

75. Kaviani E, Niazi A, Moghadam A, Taherishirazi M, &

Heydarian Z. Phytoremediation of Ni-contaminated soil by Salicornia iranica. Environmental technology. 2019; 40(3):270–281. https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1387179

76. Hulkko LSS, Turcios AE, Kohnen S, Chaturvedi T, Papenbrock J, Thomsen MH. Cultivation and characterisation of Salicornia europaea, Tripolium pannonicum and Crithmum maritimum biomass for green biorefinery applications. Sci Rep. 2022; 12(20507). https://doi.org/10.1038/s41598-022-24865-4

77. Beltrán Burboa CE, Arce ME, Bianciotto O, López Ahumada GA, Vargas JM, Hernández-Montiel LG, et al. Salicornia bigelovii (TORR.): un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticas. Biotecnia. 2017;19:46–50. https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971095006.pdf

REVISTA ESPAMCIENCIA

16
Nº1
2025

Degradación de un fármaco oncológico mediante fotocatálisis heterogénea utilizando (g-C3N4) en un sustrato de fibra de vidrio

Degradation of an oncology drugs by heterogeneous photocatalysis using (g-C3N4) on a fiberglass substrate

María Fernanda Chávez Mero[1]
Alejandro Altamirano-Briones[1]

[1]Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Portoviejo, 130109, Ecuador.
[2]Universidad Estatal de Milagro, Programa de Maestría en Química Aplicada, Milagro, 091701, Ecuador.

Autor de correspondencia: mchavez3382@utm.edu.ec

Revista ESPAMCIENCIA
ISSN: 1390-8103

CC BY NC SA

VOL.16(1):13-19
DOI: 10.51260/1390597X.520
Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2024
Fecha de aceptación: 21 de marzo de 2025
Fecha de publicación: 28 de marzo de 2025

Degradación de un fármaco oncológico mediante fotocatálisis heterogénea utilizando (g-C3N4) en un sustrato de fibra de vidrio

Degradation of an oncology drugs by heterogeneous photocatalysis using (g-C3N4) on a fiberglass substrate

Resumen

El imatinib mesilato (IMB) es un medicamento citotóxico cuya presencia en aguas residuales hospitalarias, ríos y otros cuerpos de agua representa un riesgo significativo para el equilibrio biológico de los ecosistemas acuáticos. Este estudio evalúa la viabilidad de remover y mineralizar el IMB mediante fotocatálisis heterogénea como una estrategia ambientalmente sostenible frente a los métodos tradicionales de tratamiento. Se empleó nitruro grafítico inmovilizado en fibra de vidrio (g-C_3N4@FV) como fotocatalizador, bajo irradiación UV y con la asistencia de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a una concentración de 1 mmol/50 mL. Se consideró la inmovilización, ya que, mitiga el riesgo de que se liberen al medio las partículas del semiconductor y reduce los costos operacionales de remoción y recuperación en cada ciclo de uso. Los ensayos experimentales se realizaron con muestras de agua contaminadas con 10 mg/L de IMB, sometidas a diferentes tratamientos: fotólisis, fotólisis asistida con H_2O_2 y fotocatálisis completa. A razón de que Los resultados mostraron una degradación del 87,17% al utilizar g-C_3N_4 libre y del 51,63% con g-C_3N_4@FV en un tiempo de 60 minutos, además de una disminución del 52,20% en la demanda química de oxígeno (DQO). Finalmente, el índice de biodegradabilidad del efluente tratado alcanzó un valor de 0,54, destacando el potencial de esta técnica como una alternativa eficiente para la gestión ambiental de efluentes contaminados con fármacos.

Palabras clave: Mesilato de imatinib, oncológico, fotocatálisis heterogénea, g-C_3N_4, fibra de vidrio.

Abstract

Imatinib mesylate (IMB) is a cytotoxic drug found in hospital wastewater, rivers, and other water bodies, posing a significant risk to the ecological balance of aquatic ecosystems. This study evaluates the feasibility of removing and mineralizing IMB through heterogeneous photocatalysis as an environmentally sustainable alternative to traditional treatment methods. Graphitic carbon nitride immobilized on fiberglass (g-C_3N_4@FV) was used as a photocatalyst under UV irradiation, assisted by hydrogen peroxide (H_2O_2) at a concentration of 1 mmol/50 mL. Immobilization was considered because it mitigates the risk of releasing semiconductor particles into the environment and reduces the operational costs of removal and recovery in each cycle of use. Experimental tests were conducted using water samples contaminated with 10 mg/L of IMB, subjected to different treatments: photolysis, H_2O_2-assisted photolysis, and complete photocatalysis. Results showed an 87.17% degradation using free g-C_3N_4 and 51.63% with g-C_3N_4@FV within 60 minutes, along with a 52.20% reduction in chemical oxygen demand (COD). The biodegradability index of the treated effluent reached a value of 0.54, highlighting the potential of this technique as an efficient alternative for the environmental management of pharmaceutical-contaminated effluents.

Keywords: Imatinib mesylate, oncological, heterogeneous photocatalysis, g-C_3N_4, fiberglass.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la calidad y cantidad del agua es una preocupación global creciente, impulsada por el aumento de la población, el desarrollo industrial acelerado y el consumo masivo de productos químicos, factores que han generado una presión significativa sobre los cuerpos hídricos. Se estima que solo el 1% del agua en el mundo se destina al consumo humano, y más de mil millones de personas carecen de acceso a este recurso esencial (1).

Ante esta problemática, la comunidad científica ha centrado sus esfuerzos en el estudio de contaminantes de origen antropogénico que podrían causar daños irreversibles a los ecosistemas. Además, el avance de métodos más sensibles ha permitido detectar la presencia de estos compuestos, conocidos como contaminantes emergentes (CE), en el aire, agua y suelo, incluso a concentraciones extremadamente bajas (2).

Los CE carecen de regulaciones a nivel local a pesar de que ya han sido identificados en ríos de Latinoamérica (3) incluyendo en Ecuador, en provincias como Esmeraldas, Azuay y Napo (4). Es importante destacar que, a nivel internacional, la Comisión Europea mantiene una lista de control general en la que se evalúan estos CE (5).

Los fármacos, como contaminantes emergentes, representan una preocupación global. Es bien sabido que, al ser ingeridos por los seres vivos, no se metabolizan por completo, y son eliminados a través de los desechos biológicos, lo que permite que lleguen con facilidad a los ecosistemas acuáticos (6). Se ha comprobado que los antibióticos betalactámicos son responsables de la generación de resistencia bacteriana (7), los fármacos hormonales alteran los ciclos reproductivos de peces y anfibios (8), y los citotóxicos pueden ser altamente cancerígenos (9).

Los medicamentos oncológicos se clasifican como compuestos citotóxicos debido a su capacidad de dañar células tanto cancerosas como no cancerosas, lo que genera efectos adversos significativos en los organismos expuestos (10). Además, su consumo ha experimentado un aumento considerable en los últimos años, impulsado por la creciente prevalencia del cáncer a nivel mundial.

Los tratamientos convencionales de aguas residuales como la filtración, ozonización y desinfección (11) (12), no son capaces de degradar estas moléculas por ello se buscan alternativas como los procesos de oxidación avanzada (POAs) (13), ya que han demostrado ser eficientes en la degradación de una gran variedad de CE, gracias a su robusta oxidabilidad no selectiva (14), además, se consideran potencialmente respetuosos con el medio ambiente (15).

En esta investigación se consideró el mesilato de imatinib (IMB), como molécula a degradar ya que su mecanismo de acción induce efectos muta génicos y disruptores endocrinos in vivo e in vitro en organismos acuáticos (16). Sumándole a ello, poco se sabe sobre sus rutas en el medio ambiente y el impacto de sus derivados. El IMB es una molécula perteneciente al grupo de las N-fenilbenzamidas y reconocida como una inhibidora de quinasa, utilizada en el tratamiento de la leucemia mieloide crónica, así como tumores gastrointestinales (17)

Por otro lado, la fotocatálisis heterogénea es una técnica que aprovecha catalizadores sólidos combinados con H_2O_2, luz, electricidad o persulfato para eliminar contaminantes orgánicos, logrando superar las deficiencias de los POAs homogéneos (18). Los catalizadores deben ser química y biológicamente inerte, fotoactivos, fotoestables, de bajo costo e inocuo y se activan por luz solar (19).

Se ha estudiado al dióxido de titanio TIO_2 como fotocatalizador, pero presenta limitaciones en los puntos de vista económico (20). El nitruro de carbono grafitico muestra gran disponibilidad comercial, flexibilidad polimérica y su banda prohibida es de 2,7 eV (21). Generalmente se utiliza en suspensión, aunque presenta dificultades relacionadas a su separación y posible liberación de nanoparticulado al medio ambiente. Por ello es importante inmovilizar el material (22). La fibra de vidrio ha demostrado ser un soporte prometedor (23).

Por tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia del nitruro de carbono grafitico en su estado libre e inmovilizado, empleando una fuente de luz ultravioleta (UV) para la degradación de una solución de mesilato de imatinib.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los sustratos de g-C_3N_4@FV

Para la inmovilización, la fibra de vidrio (FV) fue lavada con una solución de etanol y agua en proporción 50% v/v, posteriormente se sometió a baño ultrasónico Yaxun 1200 durante 15 minutos. Seguido de un proceso de secado a 100°C durante 24 horas. Para el proceso de inmovilización, se preparó una mezcla compuesta por 0,25 g de silicona líquida disuelta en 15 mL de etanol 96% (v/v), que se agitó hasta obtener una solución homogénea. A continuación, se incorporaron 0,250 g de g-C_2N_4, y la mezcla se agitó durante 6 minutos adicionales. La solución obtenida se distribuyó uniformemente sobre los hilos de fibra de vidrio, los cuales se secaron a 80°C durante 24 horas, el material obtenido se lo denota como g-C_3N_4@FV.

La caracterización del material soportados se realizó por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR, Varian, modelo: 670) y microscopio electrónico de barrido (SEM, JEOL, Modelo: JSM-IT300).

Degradación fotocatalítica de IMB

Para evaluar la eficiencia de degradación, se realizaron ensayos preliminares de fotólisis, adsorción y fotocatálisis utilizando g-C_3N_4 sin inmovilizar: 1 g/L. Cada ensayo se llevó a cabo en 50 mL de una solución de IMB (Sigma Aldrich 99,7% de pureza) a una concentración de 10 mg/L.

Influencia de la fotólisis

Para evaluar la influencia de la fotólisis sobre la degradación del IMB, las muestras a luz UV (8W) en ausencia del fotocatalizador y se tomaron muestras a 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60 minutos de irradiación.

Influencia de la adsorción del fotocatalizador

Para determinar el tiempo de equilibrio de adsorción del material catalizador se añadió 50 mg de g-C_3N_4 en 50 mL de solución de IMB 10 mg/L y se mantuvieron en agitación por 60 minutos a 250 rpm en ausencia de la luz, para identificar la cantidad adsorbida se tomaron muestras con la misma frecuencia del ensayo de la fotólisis. Posteriormente se repitió el ensayo con presencia de la Luz para identificar la influencia del catalizador con la luz UV.

Influencia del oxidante H_2O_2

Para identificar la influencia del oxidante en la reacción se añadieron 1 mmol de H_2O_2 en 50 mL de solución de IMB de 10 mg/L, se mantuvo en agitación a 250 rpm en ausencia de la luz y se tomaron muestras a los mismos tiempos preestablecidos en los ensayos anteriores, posteriormente se repitió el ensayo en presencia de la luz para identificar la influencia del oxidante con la luz UV. Finalmente, se realizaron ensayos con fotocatalizador, oxidante y luz en conjunto para verificar su eficiencia conjunta, todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Las muestras se cuantificaron por cromatografía líquida de alto desempeño HPLC (Agilent Technologies modelo: 1120 compact LC) equipado con un detector UV- Vis, una columna C18 (Zorbax Eclipse Plus) de 15 cm, volumen de inyección de 10 uL, longitud de onda de 265 nm, una fase móvil de acetonitrilo (LiChrosolv) con agua acidificada con ácido fórmico (LiChrosolv pH 3,0 (30:70) y tiempo de corrida de 4 minutos.

Biodegradabilidad del IMB

La biodegradabilidad se evaluó mediante la demanda química de oxígeno (DQO) método estándar 5220: Chemical Oxygen Demand y demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO5), método estándar 5210 D: Biochemical Oxygen Demand establecidas por la American Public Health Association.

El índice de biodegradabilidad es el cociente entre DBO5/DQO; cuando este valor es menor a 0,4, la muestra es poco biodegradable (24). El uso de este criterio permitirá comparar la biodegradabilidad de las muestras antes y después de aplicarse el mejor tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los sustratos g-C_3N_4@FV

La caracterización del material se la realizó en un espectrofotómetro FT-IR (Varian, modelos: 670) donde el espectro IR obtenido, tanto del g-C_3N_4 como el g-C_3N_4@FV, muestran los mismos grupos funcionales (Figura 1), esto indica que el g-C_3N_4 quedó inmovilizado en la superficie del material, expuesto para reaccionar y no cubierto por la silicona utilizada para la fijación, por otro lado, la micrografía del microscopio SEM (JEOL, Modelo: JSM-IT300) con un aumento de 750X muestra una cobertura total de las fibras de vidrio por partículas de g-C_3N_4, esto permite inferir que el material fotocatalizador queda disponible para promover reacciones de fotocatálisis.

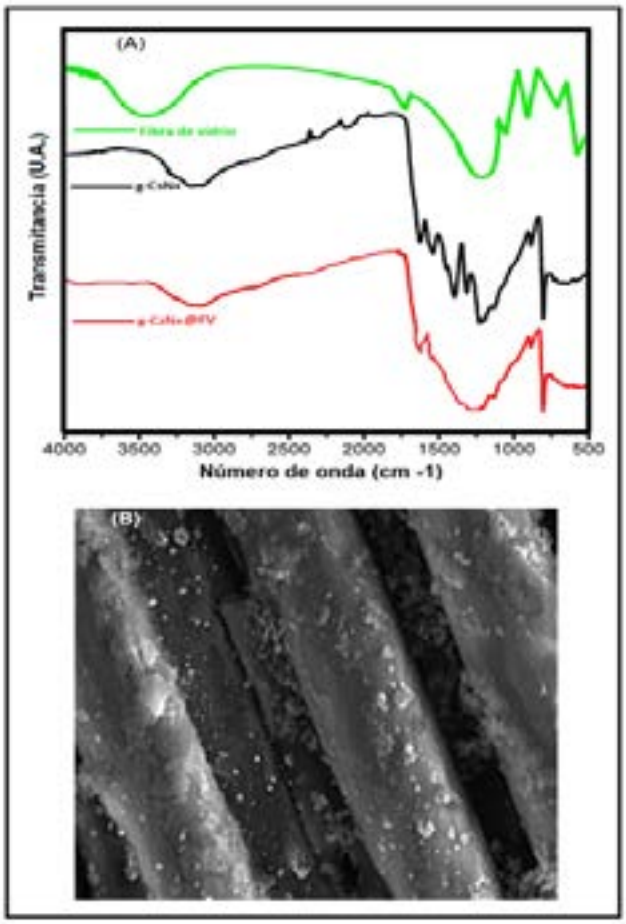


Figura 1. (A) Comparación de espectros FT-IR obtenidos fibra de vidrio, g-C_3N_4 y g-C_3N_4@FV (B) micrografía obtenida por microscopía SEM 750x a 55 Pa, 15 kV micrografía obtenida por microscopía SEM 750x a 55 Pa, 15 kV

Degradación fotocatalítica

Los ensayos de fotólisis no demostraron una capacidad de degradación del IMB, las fluctuaciones en la concentración pueden ser debida a la vaporización de pequeñas cantidades de agua durante la irradiación con que es consecuente con los resultados obtenidos por Secretan (25), por otro lado, los estudios del tiempo de equilibrio de adsorción muestra que la adsorción de IMB es rápida alcanzando un equilibrio antes del primer minuto reduciendo su concentración a un 56% de su concentración inicial y manteniéndose constante durante los 60 minutos de duración del ensayo, con este resultado se estableció 10 minutos de agitación en ausencia de luz como fase oscura antes de realizar los ensayos de fotocatálisis. Los ensayos realizados con H_2O_2 en combinación con luz, así como

aquellos con g-C_3N_4 y luz, no mostraron una efectividad significativa en la degradación del IMB (Figura 2C), estos resultados concuerdan con los obtenidos por (26).

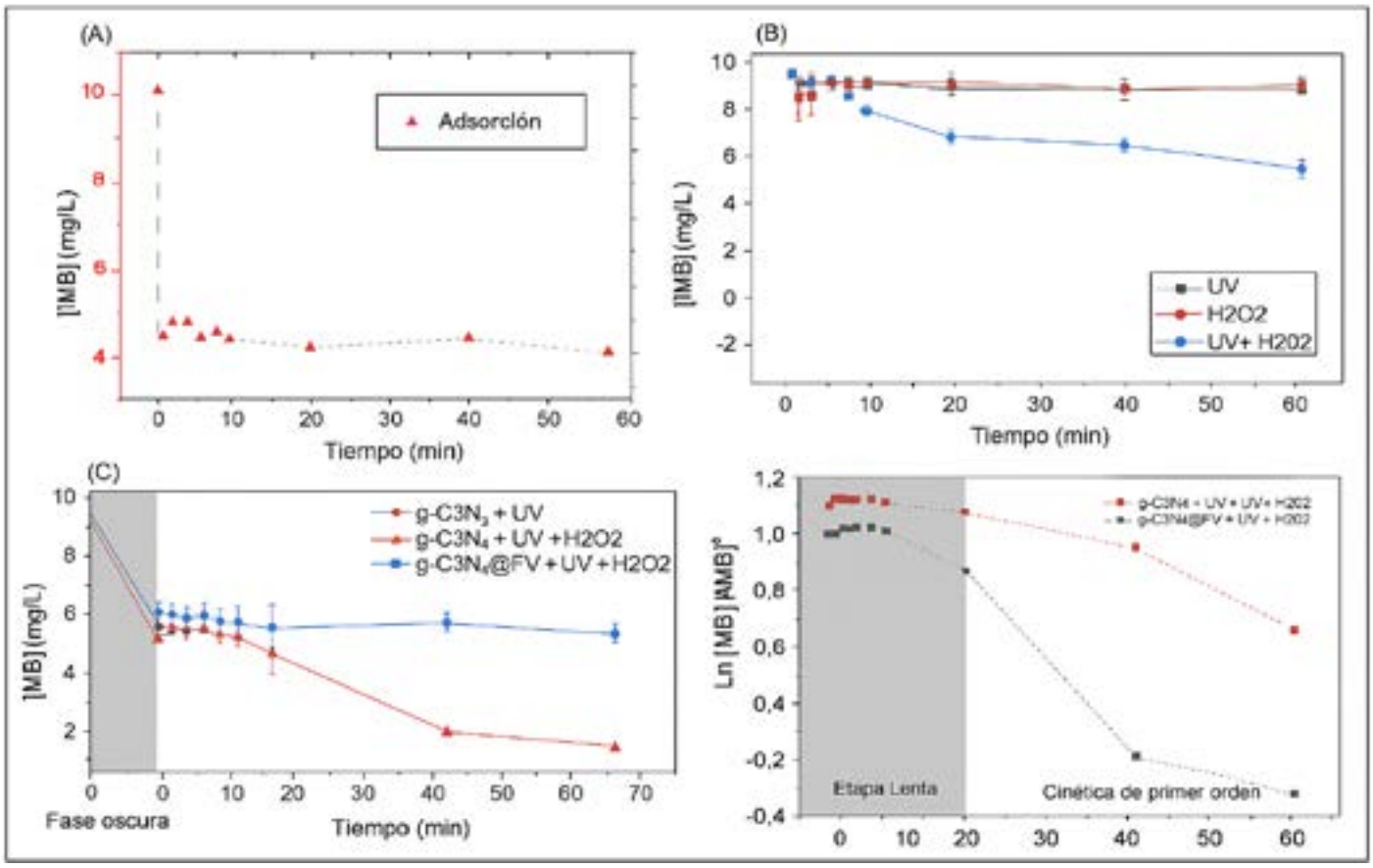


Figura 2. (A) estudio del tiempo de equilibrio de adsorción del IMB en g-C_3N_4, (B) comparación entre los ensayos de fotólisis, H_2O_2 y ambas en conjunto (C) degradación de IMB con la fotocatálisis sin H_2O_2, con H_2O_2 y g-C_3N_4@FV con H_2O_2, (D) Cinética de primer orden para la degradación de g-C_3N_4 y g-C_3N_4@FV.

Esto podría atribuirse a la estructura molecular del IMB, que contiene múltiples carbonos con hibridación sp² en anillos aromáticos, los cuales presentan enlaces de alta energía. Además, debido al tamaño y la voluminosidad de la molécula, se generan impedimentos estéricos que dificultan la interacción de los radicales hidroxilos ●OH con el compuesto (27).

Por otro lado, los ensayos realizados con la combinación de fotocatalizador, oxidante y luz evidenciaron una alta capacidad oxidativa, logrando degradar el 87,17% de la molécula. Esto podría explicarse por la abundante generación de radicales hidroxilos ●OH, los cuales incrementan las colisiones entre las moléculas de IMB y los radicales libres (28).

Finalmente, los estudios de fotocatálisis con el material inmovilizado mostraron degradaciones más bajas, alcanzando el 51,63 % de la dosis inicial tras el equilibrio de adsorción.

Esto se debe a que la superficie de contacto del g-C_3N_4@FV es menor en comparación con el g-C_3N_4 libre, lo que implica una reducción en los puntos catalíticos disponibles y, por ende, una disminución en la eficiencia del proceso (29). Cabe destacar que la cinética presenta una etapa lenta durante los primeros 20 minutos, antes de ajustarse a un modelo cinético de primer orden con una constante cinética k = 0,0215 min-1 para el g-C_3N_4 libre y k = 0,0071 min-1 para el g-C_3N_4@FV, como se observa en la figura 2D. Este comportamiento podría estar relacionado con un paso determinante en la cinética, posiblemente la interacción entre los radicales ●OH y el IMB, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en los ensayos de degradación.

Estudios de la biodegradabilidad

Para los estudios de biodegradabilidad, se analizó el tratamiento más efectivo, que en este caso correspondió al ensayo con g-C_3N_4 sin inmovilizar, en combinación con H_2O_2 y luz UV. La degradación del DQO alcanzó un 56,20%. Sin embargo, no fue posible medir el DBO_5 inicial, probablemente debido a que la concentración de IMB en la muestra eliminó el inóculo. Al final del tratamiento, la muestra presentó un DBO_5 de 7,4 mg/L, lo que permitió calcular un índice de biodegradabilidad del agua de 0,54. Este valor indica que el efluente puede ser tratado mediante lodos activados (30).

CONCLUSIONES

Los ensayos de fotólisis y adsorción confirmaron que el imatinib mesilato es resistente a la luz y presenta una alta afinidad por adherirse a superficies sólidas, lo que complica su degradación mediante métodos convencionales. Sin embargo, el material catalizador demostró ser eficiente en la degradación de 50 ml de IMB de concentración 10 mg/L durante 60 min, alcanzando un 87,17% de eliminación al usar g-C_3N_4 en suspensión asistido con peróxido de hidrógeno y un 51,63 % con g-C_3N_4 inmovilizado.

La evaluación de la biodegradabilidad, basada en los valores de DQO y DBO_5, destacó la efectividad de esta alternativa en la reducción de contaminantes orgánicos. Esto subraya la viabilidad de integrar la fotocatálisis heterogénea en proyectos sostenibles para la gestión de aguas residuales contaminadas con fármacos, contribuyendo a mitigar los impactos ambientales de los contaminantes emergentes.

Teniendo en cuenta que se debe profundizar en el estudio de la influencia del pH, la carga del catalizador y la concentración de los CE para reducir las limitaciones por sobredosis, sitios activos y radiación. Asimismo, el reciclaje y la recuperación postratamiento, la rentabilidad de las fuentes de luz y el tiempo necesario para una degradación completa.

LITERATURA CITADA

1. Tebogo D, Oluwalana A, Mupa M, Meili L, Selvasembian R, Nindi M, Sillanpaa M, Gwenzi W, Chaukura N. Pharmaceuticals in wastewater and their photocatalytic degradation using nano-enabled. *Journal of Water Process Engineering*. 2023; 54:103880. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103880
2. Puri M, Gandhi M, Kumar M. Emerging environmental contaminants: A global perspective on policies and regulations. *Journal of Environmental Management.* 2023; 332:117344. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117344
3. Oliveira-Souza M, Alves-Rocha B, Adeyemi J, Nadal M, Domingo J, Barbosa F. Legacy and emerging pollutants in Latin America: A critical review of occurrence and levels in environmental and food samples. *Science of The Total Environment.* 2022; 848: 157774. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157774
4. Arcentales-Ríos R, Carrión-Méndez A, Cipriani-Ávila I, Acosta S, Capparelli M, Moulatlet GM, & Pinos-Vélez V. Assessment of metals, emerging contaminants, and physicochemical characteristics in the drinking water and wastewater of Cuenca, Ecuador. *Journal of Trace Elements and Minerals.* 2022; 2: 100030. https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100030
5. Unión Europea, Decisión de ejecución (UE) 2022/1307 de la Comisión de 22 de julio de 2022 por la que se establece una lista de observación de sustancias a efectos de seguimiento a nivel de la Unión en el ámbito de la política de aguas, de conformidad con la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea.* 2022; L 189:117-120. http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2022/1307/oj
6. Alzola-Andrés M, Domingo-Echaburu S, Nogales-Garcia M, Palacios-Zabalza I, Urrutia-Losada A, Arteche-Elguizabal L, & Lertxundi U. El impacto ambiental de los medicamentos: una mirada desde la farmacia hospitalaria. *Farmacia Hospitalaria.* 2024; 48: S13-S20. https://doi.org/10.1016/j.farma.2023.09.010
7. Martínez-Alcalá I, Soto J, Lahora A. Antibiotics as emerging pollutants. Ecotoxicological risk and control in wastewater and reclaimed water. *Ecosistemas.* 2020; 29(3). http://dx.doi.org/10.7818/ECOS.2070
8. Echaburu S, Gasteiz V. Farmacontaminación: impacto medioambiental de los medicamentos desde el punto de vista de los profesionales de la salud [Internet]. Portal de Producción Científica: Universidad del País Vasco; 2022 [citado 2025 mar 3]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10810/57167
9. Vázquez González A, Lagomazzini-Mellado B, Vázquez-González A. Riesgos y efectos producidos por el manejo de citostáticos. *SANUM.* 2021; 5(3):76–84. https://revistacientificasanum.com//wp-content/uploads/Vol5n3/Vol5n3-Articulos-PDF/sanum_v5_n3_a9.pdf
10. Lutterbeck C, Kern D, Machado Ê, Kümmerer K. Evaluation of the toxic effects of four anti-cancer drugs in plant bioassays and its potency for screening in the context of waste water reuse for irrigation. *Chemosphere.* 2015; 135: 403–410. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.019
11. Casierra-Martínez H, Casalins-Blanco J, Vargas-Ramírez X, Caselles-Osorio A. Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. *Tecnología y Ciencias del Agua.* 2016; 7(4): 97–111. https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1261
12. Martins Pinheiro A, Salla M, Lyda M, Rojas B. Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. *Revista chilena de ingeniería.* 2019; 27(2):223–235. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000200223
13. López Ramírez MÁ, Castellanos Onorio OP, Lango Reynoso F, Castañeda Chávez MDR, Montoya Mendoza J, Sosa Villalobos CA, & Ortiz Muñiz B. Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE.* 2021; 12(4): 76-87. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769

14. Mohammed AM, Aziz F, Mohtar SS, Mhamad SA, Ahmadu B, Nasir MU, & Aziz M. A review of research trends on the usage of photocatalysis for wastewater treatment: bibliometric analysis. *Sustainable Water Resources Management.* 2023; 9(3): 88. https://doi.org/10.1007/s40899-023-00868-5

15. Kumari P, Kumar A. Advanced oxidation process: A remediation technique for organic and non-biodegradable pollutant. *Results in Surfaces and Interfaces.* 2023; 11: 100122. https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2023.100122

16. Mišík M, Filipic M, Nersesyan A, Kundi M, Isidori M, Knasmueller S. Environmental risk assessment of widely used anticancer drugs (5-fluorouracil, cisplatin, etoposide, imatinib mesylate). *Water Research.* 2019; 164:114953. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114953

17. Fortes-gonzález MS, Vazquez-blanco S, Crespo-diz C, & Amador-barciela L. Imatinib en leucemia mieloide crónica: resultados en práctica clínica habitual. *OFIL.ILHAPAR.* 2022; 32(2):167–172. https://dx.doi.org/10.4321/s1699-714x2022000200008

18. Yu T, Chen H, Hu T, Feng J, Xing W, Tang L, & Tang W. Recent advances in the applications of encapsulated transition-metal nanoparticles in advanced oxidation processes for degradation of organic pollutants: A critical review. *Applied Catalysis B: Environmental.* 2024; 342. 123401. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2023.123401

19. Tolić Čop K, Mutavdžić-Pavlović D, Gazivoda-Kraljević T. Photocatalytic Activity of TiO2 for the Degradation of Anticancer Drugs. *Nanomaterials*. 2022; 12(19):3532. https://doi.org/10.3390/nano12193532

20. Chiva-Vicent S, Berlanga-Clavijo J, Martínez-Cuenca R, Climent-Agustina J. *Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua.* 1.ª ed. Castellón: Universitat Jaume I; 2017.

21. Basumatary F, Sarkar A, Mushahary N, Das B, Saikia P, Selvaraj M, & Basumatary S. Graphitic carbon nitride composites as advanced versatile materials for adsorption and photocatalytic degradation of emerging pollutants from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection.* 2024; 191: 2416-2468. https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.09.077

22. Briones A, Guevara I, Mena D, Espinoza I, Sandoval-Pauker C, Guerrero L, & Muñoz, F. Degradation of meropenem by heterogeneous photocatalysis using TiO2/fiberglass substrates. *Catalysts*. 2020; 10(3):344. https://doi.org/10.3390/catal10030344

23. Muktaridha O, Adlim M, Suhendrayatna S, & Ismail I. Highly reusable chitosan-stabilized Fe-ZnO immobilized onto fiberglass cloth and the photocatalytic degradation properties in batch and loop reactors. *Journal of Saudi Chemical Society.* 2022; 26(3):101452. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101452

24. Metcalf & Eddy Inc, Asano T, Burton FL, Leverenz H, Tsuchihashi R, Tchobanoglous G. *Water reuse.* New York: McGraw-Hill Professional Publishing; 2007.

25. Secrétan PH, Karoui M, Yayé HS, Levi Y, Tortolano L, Solgadi A, & Do B. Imatinib: Major photocatalytic degradation pathways in aqueous media and the relative toxicity of its transformation products. *Science of The Total Environmen*t. 2019; 655:547-556. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.270

26. Samzadeh A, Dehghani M, Baghapour M, Azhdarpoor A, Derakhshan Z, Cvetnić M, Bolanča T, Giannakis S, Cao Y. Comparative photo-oxidative degradation of etodolac, febuxostat and imatinib mesylate by UV-C/H2O2 and UV-C/S2O82− processes: Modeling, treatment optimization and biodegradability enhancement. *Environmental Research.* 2022; 212:113385. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113385

27. Al-Hadiya B, Bakheit A, Abd-Elgalil A. Imatinib Mesylate. Profiles of Drug Substances, *Excipients and Related Methodology.* 2014; 39:265–297. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800173-8.00006-4

28. Kumaravel D. & Sankar C. Mechanistic investigation in degradation mechanism of 5-Fluorouracil using graphitic carbon nitride. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019; 50:311-321. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.032

29. Montalván-Estrada A, Desdín-García L, Peláez-Abellan E, Brígido-Flores O, & Sananastacio-Rebollar I. Estado actual en el desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas, para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales. *Tecnología Química.* 2019, 39(2): 421-443.

30. Calero A. Caracterización de la relación DQO (Demanda Química de Oxígeno)/DBO5, 20 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en los efluentes líquidos residuales de industrias localizadas en Montevideo como método de “screening” rápido para determinar la eficiencia en el tratamiento de los mismos [tesis de grado en Internet]. Montevideo: Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Química; 2023 [citado 2025 jul 3]. Disponible en: https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/39096/1/TG_Calero.pdf

REVISTA ESPAMCIENCIA

16
Nº1
2025

Transformación sostenible: generación de biogás a partir de estiércol animal mediante biodigestores, comunidad María Eugenia-Yaguachi

Sustainable transformation: generation of biogas from animal manure through biodigesters in the Maria Eugenia community, Yaguachi

Carlos Cabezas-Garcia[2]
Jaime Naranjo-Moran[1]
Gabriela Andrade-Dicao[1]
Diego Muñoz-Naranjo[2] (+)

[1]Universidad Politécnica Salesiana, UPS, Grupo de Investigación en Aplicaciones Biotecnológicas, GIAB, Carrera de Biotecnología, Campus María Auxiliadora, kilómetro 19.5 Vía a La Costa, CP 090901. Guayaquil, Ecuador.
[2]Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, 59304, Av. 25 de Julio y Pio Jaramillo, Guayaquil-Ecuador

Autor de correspondencia: jnaranjo@ups.edu.ec

Revista ESPAMCIENCIA
ISSN: 1390-8103

BY NC SA

VOL.16(1):20-25
DOI: 10.51260/1390597X.513
Fecha de recepción: 30 de noviembre de 2024
Fecha de aceptación: 04 de abril de 2025
Fecha de publicación: 21 de abril de 2025

Transformación sostenible: generación de biogás a partir de estiércol animal mediante biodigestores, comunidad María Eugenia-Yaguachi

Sustainable transformation: biogas generation from animal manure through biodigesters, María Eugenia community – Yaguachi

Resumen

El artículo aborda la generación de biogás a partir de estiércol vacuno mediante biodigestores en la comunidad María Eugenia, Yaguachi, Ecuador. El objetivo del estudio fue implementar una alternativa energética limpia y sostenible para la comunidad, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3 y 7 de las Naciones Unidas. La metodología incluyó la construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio a escala de 20 litros, utilizando estiércol bovino como materia prima. Se realizaron análisis de pH, temperatura y contenido de materia orgánica para evaluar la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica. Los resultados mostraron que el biodigestor fue efectivo en la producción de biogás, con un pH óptimo entre 7,22 y 7,72 y una temperatura promedio de 25,5°C, condiciones adecuadas para la actividad de los microorganismos metanogénicos. La materia orgánica presente en el estiércol vacuno fue suficiente para generar biogás de calidad, y la humedad se mantuvo en niveles adecuados para el proceso. En conclusión, el uso de biodigestores en la comunidad María Eugenia no solo proporciona una fuente de energía renovable y sostenible, sino que también ayuda a gestionar los residuos orgánicos de manera eficiente, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la lucha contra el cambio climático.

Palabras clave: Biodigestor, biogás, energía alternativa, metano.

Abstract

This article addresses the generation of biogas from cattle manure using biodigesters in the María Eugenia community, Yaguachi, Ecuador. The objective of the study was to implement a clean and sustainable energy alternative for the community, aligned with the United Nations Sustainable Development Goals 3 and 7. The methodology involved the construction and operation of a 20-liter scale anaerobic biodigester, using bovine manure as the raw material. Analyses of pH, temperature, and organic matter content were carried out to evaluate the efficiency of the anaerobic digestion process. The results showed that the biodigester was effective in producing biogas, with an optimal pH range between 7.22 and 7.72 and an average temperature of 25.5°C—conditions suitable for the activity of methanogenic microorganisms. The organic matter present in the cattle manure was sufficient to generate high-quality biogas, and moisture levels were maintained within appropriate ranges for the process. In conclusion, the use of biodigesters in the María Eugenia community not only provides a renewable and sustainable energy source, but also contributes to efficient organic waste management, reduces dependence on fossil fuels, and supports the fight against climate change.

Keywords: Biodigester, biogas, alternative energy, methane.

INTRODUCCIÓN

La energía es un elemento sustancial para el desarrollo de las ciudades sostenibles, frente al cambio climático que requiere de mayor producción de energías renovables y Ecuador no es la excepción, estos postulados se definen y se alinean siempre a los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) 3 y 7 de las Naciones Unidas, proyectados al 2030 (1). Sin embargo, la contaminación antropogénica que generan los combustibles fósiles esto resulta un aspecto crítico para el calentamiento global. El ser humano, a través del uso de combustibles fósiles y tecnologías avanzadas, ha modificado el entorno natural.

Estas acciones han generado muchos beneficios como problemas ambientales. Como resultado, la conservación del medio ambiente se ha vuelto una prioridad, en particular a los países en desarrollo, donde los efectos de la degradación ambiental son más evidentes (2). El consumo mundial de energía ha aumentado a un ritmo más lento de lo habitual. Aunque los países de la OCDE han registrado un crecimiento mayor, la tendencia general hacia una desaceleración. Ante este escenario, las fuentes de energía alternativas, como el biogás producido a partir de residuos orgánicos, han ganado importancia. Estas alternativas no solo ayudan a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también ofrecen soluciones para gestionar los residuos de manera más sostenible (3).

Por otra parte, la producción ganadera genera grandes cantidades de estiércol, que si no se gestiona puede contaminar el medio ambiente. La solución innovadora es convertir estos residuos en biogás, un tipo de gas similar al gas natural pero producido a partir de materia orgánica. Mediante un proceso llamado digestión anaeróbica, el estiércol se descompone y genera metano, un gas que puede utilizarse como combustible para la generación de energía eléctrica o para la cocción de alimentos. Esta alternativa no solo reduce la contaminación, sino que también disminuye nuestra dependencia de los combustibles fósiles y contribuye a la lucha contra el cambio climático. El uso de biogás a partir de estiércol puede ayudar a preservar los bosques al reducir la demanda de leña y otros combustibles tradicionales, lo que beneficia al medio ambiente y a la salud de las personas (4).

Para proteger el aire, el agua, el suelo y otros recursos naturales de la provincia del Guayas, existen instituciones gubernamentales que supervisan las actividades humanas, incluyendo las del sector ganadero. El Ministerio del Ambiente, el Ministerio de Agricultura y el Gobierno Provincial del Guayas son responsables de garantizar que estas actividades se realicen de manera sostenible y que no causen contaminación por el mal manejo de las excretas de ganado y los residuos orgánicos generados (5). Incluso en la actualidad se ha desarrollado un modelo virtual que puede aplicarse a una amplia variedad de residuos orgánicos para evaluar la eficiencia de la digestión anaeróbica. Con este modelo, es posible predecir la producción de biogás, su composición y el potencial energético de los residuos, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la gestión de residuos y la producción de energía renovable (6), un modelo que puede ser aplicado y adaptado a las condiciones locales de Ecuador considerando la gestión e iniciativa de las instituciones gubernamentales.

La eficiencia de eliminación de materia orgánica puede alcanzar el 79% para los residuos orgánicos y biomasa vegetal (7). Por otra parte, se ha probado la eficiencia en un 99% de la codigestión anaeróbica con desechos de pescado junto a biomasa de jacinto de agua (8). Los estudios científicos revelan una sinergia intrigante entre la adición de hidrocarburos y el reflujo de lodo de biogás en la optimización de los procesos de digestión anaeróbica. Cabe recalcar que la digestión anaeróbica es un proceso biológico que transforma la materia orgánica en biogás, y que en sus etapas esta la hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, esta última realizada por algunas bacterias de forma natural (9).

Al mejorar las condiciones redox y la interacción entre los microorganismos, los hidrocarburos parecen estimular un ambiente propicio para la actividad metanogénica. Por su parte, el reflujo de lodo, al enriquecer el sistema con nutrientes esenciales, complementa esta acción y potencia la producción de biogás. Estos resultados abren nuevas perspectivas para el desarrollo de estrategias más eficientes y sostenibles de tratamiento de residuos orgánicos, con un potencial significativo para la generación de energía renovable para las comunidades locales (10).

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un biodigestor anaerobio para producir biogás a partir del estiércol vacuno generado en la comuna María Eugenia, ubicada en Yaguachi, Guayas, con el fin de aportar una alternativa energética limpia y sostenible para la comunidad. La construcción y puesta en marcha del biodigestor a escala se llevó a cabo durante un período de cuatro meses. La comunidad local podrá aprovechar el biogás como un nuevo combustible, que promueva así el uso de energías renovables y la gestión sostenible de los residuos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La construcción a escala de un biodigestor consideró los siguientes parámetros iniciales como el tiempo de retención para la degradación de 20 días con la materia orgánica, seguido de las partes del biodigestor y las condiciones de la zona donde se instaló el biodigestor a escala. El biodigestor a escala de 20 litros poseía dimensiones en altura de 36 cm, ancho 31 cm, largo 37 cm y un peso 1,3 kg. Los materiales utilizados para el biodigestor a escala piloto incluyeron una caneca plástica de 20 litros con un adaptador de media pulgada, dos neplos de media pulgada, un codo tipo “T” de media pulgada, una llave de paso de media pulgada y un metro de manguera (Figura 1).

Figura 1. Sistema de biodigestión continuo de 20 litros diseñado para la producción de biogás de estiércol vacuno.

Se verificó que los conectores de PVC que estuvieran sellados antes de iniciar la instalación. El estiércol bovino de la comunidad María Eugenia sirvió como materia prima para producir biogás, reduciendo así el uso de gas licuado de petróleo en las viviendas rurales. Las muestras de estiércol se tomaron tres veces por semana durante un mes y se analizaron en un laboratorio universitario de Universidad Agraria del Ecuador, campus Guayaquil.

Para cuantificar la materia orgánica, se aplicó calcinación a temperaturas de 500-600 °C, (según el Método de pérdidas por ignición) esta técnica implica la destrucción climatizada de toda la materia orgánica analizada. Las muestras de estiércol de vaca de 10 g fueron sometidas a rangos de temperatura de 350 y 440 °C durante seis y ocho horas, luego se llevaron al desecador durante una hora. Las muestras se pesaron antes y después de ser calentadas en la estufa y la mufla, los datos obtenidos se registraron para calcular el porcentaje de materia orgánica y humedad. Cada muestra se pesó por triplicado. Y se anotó los parámetros de pH y temperatura. Las muestras de estiércol se mezclaron con agua y se midieron con el potenciómetro digital.

Una vez obtenidos los resultados del biodigestor, se analizó la efectividad y el volumen de la llama producida, comprobando así la eficiencia del biodigestor a escala para replicarlo en otras comunidades. Las muestras recogidas se depositaron en el biodigestor para la generación de biogás.

Si bien no se midió directamente el volumen de metano, los parámetros de pH y temperatura obtenidos indican condiciones favorables para su producción. Se explica que, en condiciones óptimas de pH y temperatura, se favorece la actividad de las bacterias metanogénicas, lo que se traduce en una mayor producción de metano. Además, se realizaron pruebas de combustión del biogás producido, observando el color de la llama como indicador cualitativo de la presencia de metano. Una llama azul sugiere combustión completa y, por lo tanto, una mayor concentración de metano.

La toma de muestras consistió en recoger 10 kg de porciones representativas para la elaboración del biogás a partir de un biodigestor a escala. Las excretas generadas por el ganado se recogieron tres veces a la semana (lunes, miércoles y viernes) durante cinco semanas en la comuna María Eugenia del Cantón Yaguachi.

Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de normalidad t-Student y un nivel de significancia de 95%, para aceptar o rechazar las hipótesis científicas mediante el software estadístico Minitab 2017. Tanto el exceso como la falta de agua en la mezcla pueden ser perjudiciales en el proceso para una buena producción y generación de biogás de calidad a través de estiércol vacuno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH es un factor crucial en la producción de biogás. Un rango óptimo de pH es entre 6 y 8, nuestros resultados fueron un rango de pH de 7,22 a 7,72. Esto es esencial para la actividad de los microorganismos metanogénicos.

Investigaciones indican que un pH más alto > 7,9 no mejora las condiciones del biogás (11). Desviaciones de estos rangos pueden inhibir a estos microorganismos y favorecer la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) (12).

Los AGV, a su vez, inhiben aún más a los metanógenos, creando un ciclo negativo que reduce la producción de biogás. Por lo tanto, mantener el pH dentro de los límites óptimos es fundamental para garantizar una producción eficiente y sostenible de biogás (13) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de la calidad de biogás vacuno en la comuna María Eugenia del Cantón Yaguachi.

Días de muestreo	*Parámetros de calidad de biogás	
	pH	Temperatura (ºC)
1	7,28	25,5
2	7,55	25,7
3	7,54	25,9
4	7,72	25,7
5	7,62	25,3
6	7,22	25,3
7	7,22	25,3
8	7,24	25,5
9	7,25	25,6
10	7,22	25,2
11	7,24	25,3
12	7,25	25,4
13	7,22	25,3
14	7,24	25,5
15	7,25	25,6

*Valores promedios de las observaciones realizadas en los muestreos del biodigestor

Se obtuvo un promedio general de 25,5°C y se evidenció que en el lugar se posee una temperatura idónea para la producción del biogás. Investigaciones recientes indican que la temperatura es un factor crucial para las comunidades microbianas en los procesos de digestión anaeróbica, y paso importante para comprender mejor los mecanismos subyacentes y optimizar la producción de biogás. La identificación de Spirochaetae y Thermotogae como marcadores de las etapas mesófila y termófila puede ser un indicador clave para optimizar el proceso (14), representa un avance significativo en este campo. Los microorganismos termófilos tienen un gran potencial para la biotecnología industrial (15). Sin embargo, la temperatura sigue siendo uno de los parámetros más importantes a controlar en el biodigestor.

El contenido de materia orgánica fue de un valor promedio de 78% de materia orgánica presente en el estiércol vacuno, valor que es aceptable para la generación del biogás. La humedad promedio presente en las muestras fue de 83% la humedad no varía de forma significativa lo que indica que es necesaria para la generación de biogás (Figura 2).

Figura 2. Medición del volumen de la llama en el muestreo de validación del biodigestor con estiércol vacuno.

La sucesión de la comunidad microbiana y la composición del microbiota funcional en el biodigestor también se debe evaluar dado que aporta información sobre la dinámica de emisión de biogás (16). Lo que quiere decir que se encontró que el estiércol vacuno analizado un contenido de materia orgánica adecuado para la producción de biogás y una humedad que permitió un buen manejo del material dentro del biodigestor. Incorporar compost maduro acelera el compostaje y aumenta en un 35 % la degradación de material vegetal.

Esto se debe al incremento de microorganismos especializados en altas temperaturas y en descomponer materia orgánica, lo que a su vez potencia la actividad de las enzimas que descomponen carbohidratos. Además, la comunidad microbiana se vuelve más eficiente en el metabolismo de carbohidratos y aminoácidos, lo que impulsa la descomposición (17). Comparando estos resultados con el estiércol de cerdo que puede generar más metano que el de ganado vacuno, y aún más que el estiércol digerido. Dado que, los tanques cubiertos para almacenar estiércol de cerdo liberaron casi el doble de metano que los descubiertos. Las diferencias en las emisiones se atribuyen a varios factores, incluyendo las condiciones físicas de los tanques y las prácticas de manejo en cada granja (18). Se pudiera integrar en mezclas enriquecidas con estiércol de cerdo y ganado vacuno para próximas investigaciones.

CONCLUSIONES

El biodigestor anaerobio demostró ser efectivo en la producción de biogás a partir de estiércol vacuno. La producción de biogás se evaluó indirectamente a través de la medición de parámetros clave como el pH y la temperatura, que son indicativos de la actividad metanogénica. Se observó un pH óptimo y una temperatura adecuada, condiciones que favorecen la producción de metano. La calidad del biogás se determinó mediante pruebas de combustión, donde se observó una llama de color azul, lo que sugiere una alta concentración de metano y, por lo tanto, un biogás de buena calidad.

Además, se midió la cantidad de materia orgánica consumida durante el proceso, lo que indica la eficiencia en la producción de biogás. La humedad se mantuvo en niveles adecuados, lo que es crucial para el correcto funcionamiento del biodigestor. El biodigestor no solo representa una fuente de energía renovable y sostenible para la comunidad de María Eugenia, sino que también ofrece una solución eficiente para la gestión de residuos orgánicos, contribuyendo a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y a la mitigación del cambio climático.

LITERATURA CITADA

1. Reascos GMER, Alvarez WFG, Villarruel ÉJC, & Coyago RFS. Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto-Ecuador. *Esferas.* 2022; 3: 134-153. https://doi.org/10.18272/esferas.v3i1.2426
2. Da Silva GH, Barros NO, Santana LAR, Carneiro JDC, & Otenio MH. Shifts of acidogenic bacterial group and biogas production by adding two industrial residues in anaerobic co-digestion with cattle manure. *Journal of environmental science and health. Part A*. 2021; 56(14): 1503–1511. https://doi.org/10.1080/10934529.2021.2015987
3. Ostos I, Flórez-Pardo LM, & Camargo C. A metagenomic approach to demystify the anaerobic digestion black box and achieve higher biogas yield: a review. *Frontiers in microbiology.* 2024; 15: 1437098. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1437098

4. Niya B, Yaakoubi K, Beraich FZ, Arouch M, & Meftah Kadmiri I. Current status and future developments of assessing microbiome composition and dynamics in anaerobic digestion systems using metagenomic approaches. *Heliyon.* 2024; 10(6): 28221. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28221

5. Morales-Pérez E, Andrade-Beltrán P, Flores-Gutiérrez P, Puga-Torres B, DeLaCueva-Jácome F, & Vargas-Estrella J. Estudio de residuos de Boldenona en carne de bovinos faenados en el camal Metropolitano de Quito. *Revista Científica Ecuatoriana.* 2020; 7(1): 52-57. https://doi.org/10.36331/revista.v7i1.96

6. Mihi M, Ouhammou B, Aggour M, Daouchi B, Naaim S, El Mers EM, & Kousksou T. Modeling and forecasting biogas production from anaerobic digestion process for sustainable resource energy recovery. *Heliyon.* 2024; 10(19): 38472. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38472

7. Oduor WW, Wandera SM, Murunga SI, & Raude JM. Enhancement of anaerobic digestion by co-digesting food waste and water hyacinth in improving treatment of organic waste and bio-methane recovery. *Heliyon.* 2022; 8(9): e10580. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10580

8. Ingabire H, M'arimi MM, Kiriamiti KH, & Ntambara B. Optimization of biogas production from anaerobic co-digestion of fish waste and water hyacinth. *Biotechnology for biofuels and bioproducts.* 2023; 16(1): 110. https://doi.org/10.1186/s13068-023-02360-w

9. Zhou S, Wang J, Peng S, Chen T, & Yue Z. Anaerobic co-digestion of landfill leachate and acid mine drainage using up-flow anaerobic sludge blanket reactor. *Environmental science and pollution research international.* 2021; 28(7): 8498–8506. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11207-y

10. Yang Y, Wang M, Yan S, Yong X, Zhang X, Awasthi M. K, Xi Y, & Zhou J. Effects of hydrochar and biogas slurry reflux on methane production by mixed anaerobic digestion of cow manure and corn straw. *Chemosphere.* 2023; 310: 136876. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136876

11. Yu D, Meng X, Liu J, Dian L, Sui Q, Zhang J, Zhong H, & Wei Y. Formation and characteristics of a ternary pH buffer system for in-situ biogas upgrading in two-phase anaerobic membrane bioreactor treating starch wastewater. *Bioresource technology.* 2018; 269: 57–66. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.072

12. Jha AK, Li J, Ban Q, Zhang L, & Zhao B. Dry anaerobic digestion of cow dung for methane production: effect of mixing. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS.* 2012; 15(23): 1111–1118. https://doi.org/10.3923/pjbs.2012.1111.1118

13. Wainaina S, Lukitawesa, Kumar Awasthi M, & Taherzadeh MJ. Bioengineering of anaerobic digestion for volatile fatty acids, hydrogen or methane production: A critical review. *Bioengineered.* 2019; 10(1): 437–458. https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1673937

14. Ao T, Xie Z, Zhou P, Liu X, Wan L, & Li D. Comparison of microbial community structures between mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of vegetable waste. *Bioprocess and biosystems engineering*. 2021; 44(6): 1201–1214. https://doi.org/10.1007/s00449-021-02519-5

15. Gallo G, Imbimbo P, & Aulitto M. The Undeniable Potential of Thermophiles in Industrial Processes. I*nternational journal of molecular sciences.* 2024; 25(14): 7685. https://doi.org/10.3390/ijms25147685

16. Yang M, Guo Y, Yang F, Wang J, Gao Y, Wang M, Liang X, & He S. Dynamic changes in and correlations between microbial communities and physicochemical properties during the composting of cattle manure with Penicillium oxalicum. *BMC microbiology.* 2024; 24(1), 301. https://doi.org/10.1186/s12866-024-03449-4

17. Zhang Z, Yang H, Wang B, Chen C, Zou X, Cheng T, & Li J. Aerobic co-composting of mature compost with cattle manure: Organic matter conversion and microbial community characterization. *Bioresource technology.* 2023; 382: 129187. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129187

18. Vechi NT, Falk JM, Fredenslund AM, Edjabou ME, & Scheutz C. Methane emission rates averaged over a year from ten farm-scale manure storage tanks. *The Science of the total environment.* 2023; 904: 166610. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166610

REVISTA ESPAMCIENCIA

16
Nº1
2025

Evaluación sensorial de clones de café robusta amazónicos con los estándares SCA

Sensory evaluation of amazonian robusta coffee clones using SCA standards

Fabián Marcelo Fernández Anchundia[1]
Esteban Darío Calderón Peña[1]
Edgar Javier Chuquimarca Aigaje[1]
Rey Gastón Loor Solórzano[1]
José Antonio García Rodríguez[2]
Luis Alberto Duicela Guambi[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)
[2]Gerente Control de calidad, Cup Cupper catador oficial de café arábica y robusta para la norma SCA
[3]Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

Autor de correspondencia:fabian.fernandez@iniap.gob.ec

Revista ESPAMCIENCIA
ISSN: 1390-8103

CC BY NC SA

VOL.16(1):26-33
DOI: 10.51260/1390597X.566
Fecha de recepción: 09 de diciembre de 2024
Fecha de aceptación: 13 de junio de 2025
Fecha de publicación: 27 de junio de 2025

Evaluación sensorial de clones de café robusta amazónicos con los estándares SCA

Sensory evaluation of amazonian robusta coffee clones using SCA standards

Resumen

La evaluación sensorial bajo estándares de Specialty Coffee Association (SCA) es clave para redefinir el valor de café robusta especial, promoviendo su inclusión en mercados de especialidad y asegurando la trazabilidad. Con el objetivo de identificar y seleccionar clones con calificaciones sensoriales >80 puntos SCA, que se catalogan como especiales, se realizó un estudio de 20 clones de café robusta tipo Congolensis, beneficiados por vía seca, procedentes de la Amazonía norte del Ecuador, usando los estándares SCA. Los resultados permitieron identificar a los clones T-12 (COF-003-ARB.15), T-16 (NP-3018-ARB.19) y T-18 (NP-4024-ARB.4), con puntajes sensoriales > 80 puntos y menor variabilidad relativa. El clon T-12, además del alto puntaje sensorial y la reducida variabilidad, con un 95% de confianza, se infiere que es el único material cuya media poblacional se ubica dentro de un intervalo que tiene límite, inferior, arriba de 81 puntos SCA, por lo tanto, se selecciona y recomienda usarlo en cruzamientos manuales para formar híbridos con atributos sensoriales.

Palabras clave: Atributos organolépticos, café especial, nichos de mercado, mejora genética, calidad de taza

Abstract

Sensory evaluation under the Specialty Coffee Association (SCA) standards is essential for redefining the value of specialty robusta coffee, promoting its inclusion in specialty markets, and ensuring traceability. With the objective of identifying and selecting clones with sensory scores above 80 SCA points—thus classified as specialty—a study was conducted on 20 Congolensis-type robusta coffee clones, dry-processed, from the northern Amazon region of Ecuador, using SCA standards. The results allowed for the identification of clones T-12 (COF-003-ARB.15), T-16 (NP-3018-ARB.19), and T-18 (NP-4024-ARB.4), all of which scored above 80 points with lower relative variability. The T-12 clone, in addition to its high sensory score and reduced variability, with 95% confidence, is inferred to be the only material whose population mean falls within an interval with a lower limit above 81 SCA points. Therefore, it is selected and recommended for use in manual crossings to develop hybrids with desirable sensory attributes.

Keywords: Organoleptic attributes, specialty coffee, market niches, genetic improvement, cup quality.

INTRODUCCIÓN

El café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) es un pilar de la economía cafetalera global. La importancia de esta especie radica en su volumen de producción, la adaptabilidad climática a las zonas tropicales húmedas, y secas, tolerancias a las principales enfermedades, así como su uso en materia prima y productos masivos a base de café. En la actualidad, el café robusta enfrenta desafíos como producto de especialidad, por los avances n calidad y su contribución a la sostenibilidad que están reposicionándolo en los mercados de nichos, equilibrando la seguridad alimentaria y los ingresos económicos para millones de caficultores en el mundo.

El café robusta representa aproximadamente 40% de la producción global de café, con un volumen estimado de 75,4 millones de sacos de 60 kg, en el año cafetero 2023/2024 (1). Vietnam es el mayor productor, que representa el 35% de la producción mundial de robusta (exportó 1,8 millones de toneladas, en el 2023), seguido de Brasil, Indonesia y Uganda (2). El café robusta tiene un alto impacto en las economías de los países productores; aunque su precio es menor que el arábica, su alta productividad y adaptabilidad lo hacen clave para pequeños agricultores en zonas tropicales. Además, se ha constatado un crecimiento de la demanda de robusta, que es usado para la preparación de café instantáneo y en mezclas (3). El 70% del café instantáneo mundial se produce con robusta por su alto contenido de sólidos solubles y cuerpo.

El cultivo de café robusta tolera temperaturas de 24-30°C y es resistente a plagas como la roya y lo convierte en producto estratégico ante el calentamiento global (4) (5). En el Ecuador se cultiva café robusta principalmente en las regiones de la Amazonía dentro de las provincias Orellana, Sucumbíos y Napo, Sierra en el pie de monte de Cotopaxi (La Maná, El Corazón) y Bolívar (Caluma y Echeandía), en la Costa provincias Guayas, Santa Elena, Los Ríos, Santo Domingo y Esmeraldas.

Los cafés robustas presentan una amplia variabilidad en perfiles sensoriales lo que permite una buena aceptación en los mercados de café de especialidad (6). La evaluación sensorial bajo estándares del Instituto de la Calidad del Café (CQI: siglas en inglés) es clave para redefinir el valor de café robusta especial, promoviendo su inclusión en mercados de especialidad y asegurando trazabilidad desde el cultivo hasta la taza. La producción de cafés robustas especiales beneficia a los caficultores con mejores precios y a los consumidores que buscan diversidad sensorial e inocuidad (5). La evaluación de la calidad sensorial del café robusta, bajo los estándares de la Specialty Coffee Association [SCA] (7), ha adquirido relevancia en años recientes, aunque históricamente la SCA ha enfocado sus protocolos en el café arábica. La evaluación sensorial en el café robusta es fundamental para garantizar calidad, promover su valor en el mercado especializado y alinear los procesos productivos con estándares internacionales. El protocolo Q Robusta del CQI (desarrollado en los estándares la SCA) incluye una puntuación de 0 a 100, donde los lotes con ≥80 puntos se consideran "especiales" (8) (7).

La importancia de los estándares SCA en la valoración sensorial del café robusta se fundamenta en aspectos clave ya que permiten identificar defectos como sabores a madera, tierra o fermentación indeseada, comunes en robustas mal procesados (9). Al aplicar estándares rigurosos, se resaltan atributos únicos del robusta, como cuerpo cremoso, notas achocolatadas o persistencia en boca que lo diferencian del café robusta commodity. Las características físicas del grano se relacionan estrechamente con la calidad sensorial; por lo tanto, la calificación sensorial retroalimenta a los productores con información que contribuya a la optimización de técnicas como la fermentación y secado, para potenciar perfiles deseables (10).

Los estándares de la SCA, homogenizan los criterios de evaluación, facilitando las transacciones globales y premiando calidad con precios más altos (8). Los estándares (7) evalúan 10 atributos en la catación de café robusta: fragancia/aroma, sabor (gusto), regusto, equilibrio sal: acidez, equilibrio amargo: dulce, sensación en la boca, uniformidad, equilibrio, limpieza y puntuación del catador; además de los defectos en la taza.

La SCA desarrolló el Protocolo de Catación (Cupping Protocol) y el sistema de puntuación Q Grader para evaluar cafés especiales, principalmente arabica. Sin embargo, el interés por incluir al robusta en estos estándares creció ante la demanda de mercados emergentes y la necesidad de mejorar su calidad. En 2020, la SCA publicó el Estándar para Café Verde Robusta, que incluye parámetros sensoriales adaptados (7), adoptando un léxico sensorial de consenso (11).

Algunos estudios recientes han explorado cómo aplicar métricas SCA, destacando diferencias clave en el perfil sensorial, pues el café robusta suele presentar notas a madera, tierra, nuez y mayor amargor, con cuerpo cremoso y acidez baja. Algunos investigadores han modificado protocolos de catación para equilibrar la evaluación de atributos como el cuerpo y el regusto. La evaluación sensorial del café robusta se torna un desafío por la oferta y la demanda, con sus incidencias culturales. En mercados como Vietnam, el mayor productor de robusta, se prefieren sabores intensos y amargos, lo que contrasta con los estándares SCA basados en perfiles próximos a arábica. El programa de formación de catadores incluye robusta (8), en el propósito de estandarizar los procesos de análisis de la calidad organoléptica.

La SCA, desde el 2020, inició la revisión del sistema de cata, que se basa en cuatro evaluaciones: física, descriptiva, afectiva y extrínseca (12) (13). En la evaluación física, se registran atributos intrínsecos como el color, los defectos, el contenido de humedad y el tamaño de un café

verde. En todos los casos, los resultados deben mantenerse ocultos de los actores de la evaluación sensorial para evitar sesgos. La evaluación sensorial descriptiva implica el registro de los atributos sensoriales intrínsecos como: fragancia, aroma, sabor, regusto, acidez, dulzura y sensación en la boca. La evaluación afectiva involucra el registro de información subjetiva de la calidad o preferencias hedónicas del catador, es decir se valora el placer y los defectos sensoriales. La evaluación extrínseca se refiere al registro de información del origen, proceso de beneficio, certificaciones de sostenibilidad y la "historia" de un café, que pueda resultar interesante e incluso simbólico para los compradores en el mercado (12) (13).

Con estos antecedentes, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y su Programa de Investigación en Café y Cacao, de la Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA), partiendo de un grupo de 20 selecciones clonales de café robusta tipo Congolensis que se evaluaron en diversos ambientes del país, realizó un muestreo de almendras, beneficiadas por la vía seca (café natural), para valorar el puntaje sensorial usando los estándares de la SCA con el objetivo de identificar y seleccionar los clones con calificaciones sensoriales >80 puntos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los clones de café robusta evaluados corresponde al grupo Congolensis, el cual se caracteriza por su alta variabilidad genética y morfológica, con plantas que pueden variar en tamaño, forma y tamaño de grano (14). El estudio se realizó en el 2024. Las muestras del café de los 20 clones fueron beneficiadas por la vía seca, por tanto, corresponden a café natural (nombre comercial) aplicando los estándares de la Specialty Coffee Association (7).

Los clones corresponden a 20 genotipos seleccionados del material genético de la colección de café robusta de la Estación Experimental Central de la Amazonía. El estudio se condujo en la granja Experimental Domono del INIAP, ubicada a 2°13'49.25" de latitud Sur y a 78°7'31.79" longitud Oeste, en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, parroquia General Proaño, situada a una altitud de 1.147 metros sobre el nivel del mar, una temperatura media de 20,7±0,5°C y humedad relativa del 86%, precipitación media anual de 2.844 mm, en una zona ecológica de bosque húmedo tropical (15). Las muestras de café natural fueron preparadas por el equipo de investigadores del Programa de Café y Cacao del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). El análisis sensorial se realizó por parte de los catadores de la empresa ELCAFÉ, en Guayaquil.

Identificación de los clones

La identificación de los 20 clones de café robusta Congolensis fueron codificados y se mantuvo en forma confidencial hasta el término de los análisis estadísticos, donde se develó su identidad y los resultados de la evaluación sensorial (Tabla 1).

Preparación de muestras

Beneficio por vía seca. - Los 20 clones experimentales de café robusta de la Amazonía ecuatoriana fueron procesados mediante la vía seca, por lo tanto, se trata de cafés naturales. Un café natural se prepara a partir de la cosecha de café maduro y la deshidratación de los frutos con todas sus envolturas, en marquesina, hasta alcanzar entre el 10 y 13% de humedad: los frutos deshidratados se conocen como “café bola seca” el mismo que se descascara en una piladora para obtener el café verde (green coffee). Este grano se guardó en fundas de liencillo, en condiciones de temperaturas ambiente seco hasta el momento de la evaluación sensorial en el laboratorio de la empresa ELCAFE.

Tueste. - Se usó el perfil de tueste estandarizado (7), desarrollo medio, color Agtron #55-60, que permite el enfriamiento rápido de los granos para detener el desarrollo térmico. La escala Agtron es un sistema de puntaje creado por la SCA para clasificar el tostado de los granos según su color (8).

Molienda. - Se realizó la molienda en un molino de muelas calibrado, con ajuste 650-700 micras, equivalente a la malla #20 de SCA (8).

Laboratorio de catación

Sala controlada. - Con iluminación neutra, blanca, sin colores intensos.

Temperatura estable. - de 20 a 22°C, sin olores externos. Distancia mínima entre muestras. - Se evaluaron cinco tazas por muestra. Entre una muestra y otra había una adecuada separación, para evitar interferencias o confusiones.

Utensilios

Tazas de cata SCA. - de 200 mL de volumen, de vidrio neutro.

Agua con estándares SCA. - Agua con un total de sólidos solubles de 125 a 175 ppm, un pH 6.5-7.5 y calentada hasta 93°C (8).

Panel de catadores

Los catadores, expertos en análisis sensorial del laboratorio de calidad de la empresa ELCAFE, evaluaron los 20 clones, con los estándares SCA. Previamente al análisis sensorial, realizaron una sesión de calibración con muestras de referencia de alto y bajo puntaje.

Tabla 1. Código e identificación de los 20 clones de café robusta de la Amazonía ecuatoriana

Código	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15	T-16	T-17	T-18	T-19
Clon	COF-003 ARB.2	COF-003 ARB.7	COF-003 ARB.15	COF-004 ARB.7	COF-004 ARB.15	COF-005 ARB.16	NP-3018-ARB.19	NP-2024 ARB.10	NP-4024 ARB.4	NP-2024
Código	T-1	T-2	T-20	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9
Clon	LI-A13	LB-A11	NP-3013	LB-A10	LF-A7	LT-A2	LE-A1	LQ-A3	LE-A7	COF-001 ARB.2

Protocolo de cata SCA para café robusta

Evaluación de la fragancia/aroma en seco. - La fragancia consistió en oler las muestras molidas antes de añadir agua (30 segundos por taza). Después de evaluar la fragancia, se vierte agua caliente hasta cubrir el café (agua a 93ºC), y dejar reposar 4 minutos. Inmediatamente se procede a la ruptura de la costra con una cuchara, momento en que se inhala el aroma y se registra las notas olfativas (8).

Evaluación de atributos sensoriales

Los tiempos de cata se hace en distintas temperaturas: el primer sorbo a 70-80°C, la segunda evaluación a 50-60°C y una tercera, enfriado a ambiente (8).

Atributos evaluados con puntajes SCA de 10 puntos

Fragancia/aroma. - La fragancia es la sensación olfativa del café molido en seco. El aroma es la sensación olfativa del café con la adición de agua a 93ºC, que es momento del desprendimiento de los aromáticos (8).

Gusto. - Es la identificación del sabor y de las notas de saborizados naturales como: chocolate, nuez, especias, entre otros (8).

Regusto. - Es la persistencia del sabor a café (8).

Equilibrio sal/acidez. - El equilibrio sal/acidez en la bebida está determinado por la mezcla de sensaciones saladas, debido a los niveles de potasio y de acidez por la presencia de los ácidos orgánicos (8).

Equilibrio amargo/dulce. - La relación amargo/dulce está en función de la combinación, en distintas proporciones, del sabor amargo, a causa de la cafeína y potasio, entre otras sustancias, y del sabor dulce propio de los azúcares contenidos en el café. Un café robusta fino debe tener un bajo nivel de amargo y alto nivel de dulce (8).

Sensación en la boca. - Es una combinación de peso y textura y se basa en la sensación táctil del líquido en la boca, entre la lengua y el paladar (9).

Uniformidad. - Se refiere al gusto constante de las distintas tazas de la muestra evaluada. La falta de uniformidad entre una taza y otra es una característica negativa (9).

Equilibrio. - El balance depende de cómo se complementan o contrastan los atributos gusto, regusto, sensación en la boca y las proporciones sal/acidez y amargo/dulce (8).

Limpieza. - Se refiere a la ausencia de impresiones negativas que interfieran desde la primera ingestión hasta el regusto final, es la transparencia de la taza (8)

Puntuación del catador. - El catador realiza una valoración global de la calidad de la taza, según su criterio o impresión, calificando en la escala ordinal de 0 a 10 (8).

Calificación sensorial. - Es la sumatoria de los puntajes obtenidos en los 10 atributos evaluados. Cuando hay defectos en la taza, se resta cuatro puntos cuando son defectos capitales (mohoso, fermento y sucio) y dos puntos por cada defecto secundario (8).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis descriptivo de los 20 clones, calculando la media y el intervalo de confianza (95%) de μ para poder identificar los clones con promedios y límites inferiores de confianza > 80 puntos SCA.

$$IC(95\%)= Z_{(\alpha/2)}\ S/\sqrt{n} \quad \text{(Ecu.1)}$$

Donde: IC = Intervalo de confianza para un nivel α

$Z_{(\alpha/2)}$ = Probabilidad asociada a Z. Cuando α = 0,05, $Z_{(\alpha/2)}$= 1,96 (para prueba de dos colas)
S = Desviación estándar de la muestra
n = número de observaciones

En este propósito se realizó un análisis de estabilidad, usando el modelo PROMVAR, que se basa en el diagrama de cuatro celdas, que relaciona las medias y su variación relativa (16). La variación relativa (VR) es la proporción de error típico en relación a su promedio, por cada muestra, permitirá elaborar el diagrama de cuatro celdas. La fórmula de VR es la siguiente:

$$VR\ (\%)= (S/\sqrt{n})/\bar{X}\ (100) \quad \text{(Ecu.2)}$$

RESULTADOS Y DISUSIÓN

El análisis descriptivo permitió identificar 6 clones con calificaciones sensoriales mayores que 80 puntos SCA; COF-003 ARB.7 (T11), COF-003 ARB.15 (T12), NP-3018-ARB.19 (T16), NP-4024 ARB.4 (T 18), LE-A1

(T6) y LQ-A3 (T 7); sin embargo, al analizar su intervalo de confianza de μ se determinó que el clon COF-003 ARB.15 (T12), fue el único que, con una confianza del 95%, tiene realmente potencial como café especial, siendo su límite inferior de confianza 81,26 puntos SCA (Tabla 2).

Tabla 2. Media de puntajes sensoriales, error estándar y límites inferior y superior de confianza de μ en 20 clones de café robusta amazónicos.

T-9Código	Clones	Media del puntaje sensorial	Error estándar	Intervalo de confianza de u (95%)	Límite inferior de u	Límite superior de u
T-1	LI-A13	76,2	2,35	4,61	71,59	80,81
T-10	COF-003 ARB.2	78,8	1,25	2,45	76,35	81,25
T-11	COF-003 ARB.7	81,8	1,75	3,43	78,37	85,23
T-12	COF-003 ARB.15	81,8	0,25	0,49	81,31	82,29
T-13	COF-004 ARB.7	73,8	0,75	1,47	72,33	75,27
T-14	COF-004 ARB.15	76,9	0,38	0,74	76,16	77,64
T-15	COF-005 ARB.16	76,0	1,50	2,94	73,06	78,94
T-16	NP-3018-ARB.19	81,2	1,15	2,25	78,95	83,45
T-17	NP-2024 ARB.10	66,3	0,75	1,47	64,83	67,77
T-18	NP-4024 ARB.4	80,2	0,15	0,29	79,91	80,49
T-19	NP-2024	76,3	1,25	2,45	73,85	78,75
T-2	LB-A11	76,3	1,23	2,40	73,90	78,70
T-20	NP-3013	81,8	1,75	3,43	78,37	85,27
T-3	LB-A10	79,4	1,60	3,14	76,26	82,54
T-4	LF-A7	76,3	2,25	4,41	71,89	80,71
T-5	LT-A2	76,5	1,00	1,96	74,54	78,46
T-6	LE-A1	81,6	2,75	5,39	76,21	86,99
T-7	LQ-A3	82,7	1,85	3,63	79,07	86,33
T-8	LE-A7	79,9	0,40	0,78	79,12	80,68
T-9	COF-001 ARB.2	77,5	2,50	4,90	72,60	82,40

El promedio sensorial más alto fue 82,7 puntos SCA, Cabe indicar que en el concurso taza dorada del 2022, el mayor puntaje logrado en robusta fue 86,13 puntos SCA, con un café Congolensis de la provincia de Orellana (17); por su parte (18), al evaluar un grupo de selecciones avanzadas de café robusta en Ecuador encontró varios materiales con puntajes superior a 80 puntos que según la escala utilizada los ubica como cafés finos.

Los saborizados naturales detectados por los catadores, en los clones de café robusta y los defectos en la taza se exponen en la tabla 3. Se observa de manera clara que los clones que tienen puntajes sensoriales mayores que 80 puntos SCA se asocian a los saborizados naturales como dulzor, sabor frutal, ligero a caramelo, avellanado y sabores a menta, panela y vainilla. Altos atributos de uniformidad, limpieza de tasa, equilibrio de aroma y regusto, son cualidades muy valoradas para mercados de café de especialidad (6).

Los cafés con calificaciones > 80 puntos SCA no tienen defectos en taza. El defecto en la taza que prevaleció fue el sabor a hierba, a paja y a cereal. Una muestra tenía como defecto el sabor a moho y otra fenólica. El café químicamente se compone de agua y materia seca. La materia seca está constituida por minerales y compuestos orgánicos como carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides (Cafeína) y por ácidos carboxílicos y fenólicos (19). El sabor a hierba de un café se asocia a que los granos no estuvieron completamente desarrollados, este defecto fue persistente en 6 muestras evaluadas. El sabor a paja seca de un café se asocia al defecto físico averanado que ocurre cuando hay una deficiente nutrición el cual estuvo asociado a dos muestras. Las notas de cereal en un café robusta pueden ser deseable cuando el sabor se aproxima a la malta o a cebada tostada o un indicativo de defecto en el tueste.

En el presente estudio, el tueste fue uniforme para todas las muestras y se lo catalogó como un defecto. El gusto a moho encontrado en la muestra del clon LI-A13 (T-1) se debe a la presencia de hongos en los granos, generalmente por un secado deficiente. El sabor fenólico es el gusto a medicina de la bebida, un tanto ahumado, que se asocia a la presencia de granos negros.

Tabla 3. Relación entre el promedio sensorial, los saborizados naturales detectados y los defectos prevalentes, en los 20 clones de café robusta amazónicos.

T-9Código	Clones	Media del puntaje sensorial	Saborizaos naturales	Defectos en taza
T-1	LI-A13	76,2	Ligero dulzor, vainilla frutal	Moho
T-10	COF-003 ARB.2	78,8	Ligero dulzor, frutal	Hierba, cereal
T-11	COF-003 ARB.7	81,8	Dulce, frutal	Cereal
T-12	COF-003 ARB.15	81,8	Dulce, frutal	--
T-13	COF-004 ARB.7	73,8	Ligero dulzor	Hierba
T-14	COF-004 ARB.15	76,9	Ligero dulzor, tabaco	Paja
T-15	COF-005 ARB.16	76,0	Dulce, frutal	Hierba
T-16	NP-3018-ARB.19	81,2	Dulce, frutal, ligero a caramelo	--
T-17	NP-2024 ARB.10	66,3	Dulce	Fenólico, hierba
T-18	NP-4024 ARB.4	80,2	Dulce, frutal, avenallas, menta	Hierba
T-19	NP-2024	76,3	Dulce	Paja
T-2	LB-A11	76,3	Ligero dulzor, panela, vainilla	Plana
T-20	NP-3013	81,8	Dulce, nuez, achocolatado, almendras	--
T-3	LB-A10	79,4	Dulce, frutal	--
T-4	LF-A7	76,3	Dulce	Plana
T-5	LT-A2	76,5	Dulce, ligeramente frutal panela	Hierba
T-6	LE-A1	81,6	Dulce, ligero a avenallas, panela	--
T-7	LQ-A3	82,7	Ligero dulzor, frutal,nuez vainilla	--
T-8	LE-A7	79,9	Dulce, ligero a frutal	Cereal
T-9	COF-001 ARB.2	77,5	Dulce, ligero a frutal, froral, vainilla	Hierba

Los defectos físicos del grano tienen una relación directa con la calidad organoléptica: un grano negro puede originar una nota fenólica, la que se puedo evidenciar en la muestra del clon NP-2024 ARB.10 (T-17) o a pescado. Los granos agrios pueden tener un sabor en taza herbáceo o agrio. Los granos partidos causan tueste inconsistente por lo que genera un sabor desbalanceado. Los granos de baja densidad pueden tener un sabor seco o a papel. Los granos brocados pueden tener un sabor agrio o reducir el sabor del café. Los granos con moho pueden causar un sabor a tierra, moho o sobrefermentado (10).

En el diagrama de cuatro celdas (figura 1), basado en la relación entre los promedios de la calificación sensorial (en el eje X) y la variación relativa, expresada en porciento (en el eje Y), se identifican tres clones NP-3038 ARB.19 (T16), NP-4024 ARB.4 (T18), COF-003 ARB.15 (T12) que cumplen la condición de puntaje sensorial > 80 puntos SCA y variabilidad relativa inferior al promedio general (VR = 1,72%). Los clones LE-A1 (T-6), LE-A7 (T-7) y COF-003 ARB.7 (T-11), aunque tienen puntajes arriba de 80 puntos no se considera promisorios porque la variabilidad relativa supera a la media general (VR= 1,72%).

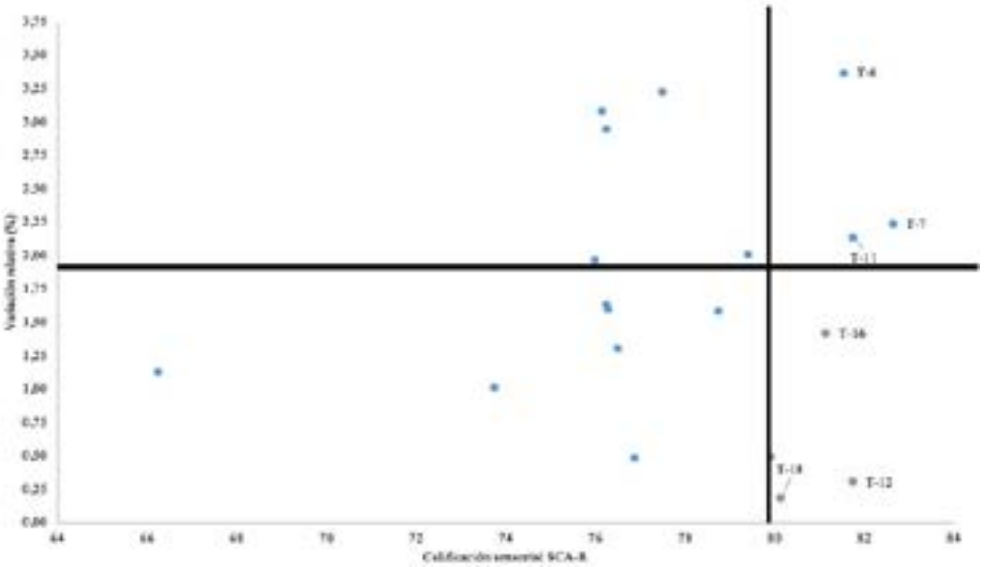


Figura 1. Diagrama de cuatro celdas identificando los clones de café robusta con mayor puntaje sensorial y menor variabilidad relativa.

CONCLUSIONES

Los clones de café robusta amazónicos, COF-003 ARB.15 (T-12), NP-3018-ARB.19 (T-16) y NP-4024 ARB.4 (T-18) tienen puntajes sensoriales > 80 puntos SCA y menor variabilidad relativa, por lo tanto, tienen potencial para la producción de cafés especiales.

El clon COF-003 ARB.15 (T-12), además de su alto puntaje sensorial y reducida variabilidad, con una confianza del 95%, infiere una media y límites inferior y superior de μ, por arriba de 81 puntos SCA.

Se recomienda usar el clon COF-003 ARB.15 (T12) en los cruzamientos manuales para la formación de híbridos derivados de clones con atributos sensoriales.

LITERATURA CITADA

1. United States Department of Agriculture USDA. *Coffee: World Markets and Trade.* 2023. https://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade-12202023
2. Corporción de café IO. *Specialty Coffee & Fine Robusta*. 2023. https://www.iocoffee.vn/post/specialty-coffee-and-fine-robusta?srsltid=AfmBOoqnmrF3tfYQFkL8I1gaMVNzgDsPN6_UCqp3RCaourW7NKAD3Jsg
3. Mordor Intelligence. *Informe del mercado del café: análisis, tamaño y pronóstico de la industria (2025 – 2030)*. 2023. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/coffee-market
4. Guerrero J, Jaramillo JL, Mora J, Bustamante A, Vargas S, Chulim N. Impacto del cambio climático sobre la producción de Café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2020; 23 (71): 1-18. http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3288
5. Forumcafé. Café de Ecuador. *Revista Forum del café online.* 2024; (97): 6-8. https://forumdelcafe.com/wp-content/uploads/2024/06/FC-N97-_-LOW-RES-1.pdf
6. Duicela LA, Loor R, Plaza LF, Corozo-Quiñónez L. Organoleptic attributes of 22 robusta coffee clones and potential for specialty coffee production in Ecuador. *Applied Food Research*. 2024; 4(2): 100567. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100567
7. Specialty Coffee Association SCA. *Protocolos de evaluación de calidad.* 2023. https://sca.coffee/value-assessment
8. Coffee Quality Institute. *Q Robusta Handbook: Standards & Protocols.* 2020. https://www.coffeeinstitute.org/
9. Duicela LA, Andrade J, Farfán DS, Velázquez S. Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (Coffea canephora Pierre ex Froehner) en la Amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha.* 2018; 19(2). https://www.redalyc.org/journal/813/81357541011/html/
10. Machado L, Medina E, Guzmán K, Ordoñez C. Evaluación de la calidad física y sensorial de grano de Theobroma cacao L. en respuesta a procesos de beneficio en municipios del norte del Huila, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 2023; 15(1): 137 - 156. https://doi.org/10.22490/21456453.6710
11. World Coffee Research. *Sensory Lexicon for Coffee.* 2021. https://worldcoffeeresearch.org/es/resources/sensory-lexicon
12. Solano F. *Un nuevo sistema para evaluar el valor del café.* Soy barista. 2023. https://www.soybarista.com/un-nuevo-sistema-para-evaluar-el-valor-del-cafe
13. Bernardes J. *Nuevo protocolo de cata CVA 2025: Evaluación del valor del café. Idecoffeelab.* 2025. https://idcoffeelab.com/nuevo-protocolo-de-cata-cva-2025-evaluacion-del-valor-del-cafe/
14. Loor R, De Bellis T, Leroy T, Plaza L, Guerrero HY, & López D. Revealing the diversity of introduced Coffea canephora germplasm in Ecuador: Towards a national strategy to improve robusta. T*he Scientific World Journal.* 2017; 1–12. https://doi.org/10.1155/2017/1248954
15. Holdridge LR. Ecología basada en zonas de vida. *Colección Libros y Materiales Educativos.* 1996; No 83. https://hdl.handle.net/11324/20468
16. Duicela LA. Productividad y estabilidad ambiental de clones de café robusta en distintas localidades cafetaleras del Ecuador. *Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia.* Maracaibo, Venezuela. 2021; 99. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24412.51845
17. Chilán WP, Duicela LA, Pinargote PC, Salcedo JA. Competitividad de los cafés robustas especiales por origen y métodos de beneficio, en Ecuador: 2016-2022. *Revista multidisciplinaria: Desarrollo agropecuario, tecnológico, empresarial y humanista.* 2025; 7(1): 1-6. http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/dateh/article/view/982/1468
18. Zambrano F, Loor R, Plaza L, Jaimez R, Guerrero H, Casanova T, López D, Rodríguez G. Relación entre productividad y calidad integral del grano en selecciones avanzadas de café Robusta (*Coffea canephora*) en Ecuador. *Agrociencia*. 2018; 52(4): 1405-3195 https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400593
19. Huerta, G. Composición química de una taza de café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café*. 2011; 12p: avances técnicos 414. http://hdl.handle.net/10778/340

REVISTA ESPAMCIENCIA

16
Nº1
2025

Influencia de la hormona coriónica equina sobre tasa de concepción y pérdida embrionaria de vacas girolando

Influence of equine chorionic gonadotropin on conception rate and embryonic loss in girolando cows

Jorge Eduardo Alava-Cobeña[1]
Israel Hernán Culcay Troncoso[1]
Davis Enrique Calle Atariguana[1]
Iván González-Puetate[1]
Hugo Eduardo Córdova Terán[2]

[1]Universidad de Guayaquil, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Av. 25 de Julio, Guayaquil, Ecuador.
[2]Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Babahoyo, Los Ríos, Ecuador

Autor de correspondencia: jorge.alavac@ug.edu.ec

Revista ESPAMCIENCIA
ISSN: 1390-8103

BY NC SA

VOL.16(1):34-40
DOI: https://doi.org/10.51260/1390597X.519
Fecha de recepción: 26 de noviembre de 2024
Fecha de aceptación: 30 de mayo de 2025
Fecha de publicación: 27 de junio de 2025

Influencia de la hormona coriónica equina sobre tasa de concepción y pérdida embrionaria de vacas girolando

Influence of equine chorionic gonadotropin on conception rate and embryonic loss in girolando cows

Resumen

Con el objetivo de evaluar la influencia de la aplicación de la hormona coriónica equina (eCG), posterior a la inseminación artificial, sobre la tasa de concepción y la reducción de las pérdidas embrionarias en vacas Girolando, se desarrolló un ensayo en la "Hacienda Manantiales del Rocío S.A.", provincia de Manabí, Ecuador. Durante el experimento, se constituyeron dos grupos de 30 animales cada uno, a los cuales se les aplicó el mismo protocolo de inseminación. Se contrastó la respuesta de un tratamiento sin aplicación contra un tratamiento con administración de 400 UI de eCG a los 20, 30 y 40 días después de la IATF. Cada unidad experimental estuvo conformada por una vaca Girolando. La tasa de concepción (%) y la muerte embrionaria temprana (%) se determinaron a través de análisis ecográfico para determinar cambios en la condición de gestación de las vacas. Las comparaciones se efectuaron por medio de la prueba de t Student. Se obtuvieron tasas de concepción de 66,7% para vacas tratadas y de 53,3% para vacas no tratadas. Aplicaciones de eCG posteriores a la inseminación artificial no afectaron la tasa de concepción ni la muerte embrionaria temprana en vacas Girolando.

Palabras clave: Inseminación artificial, embrión, muerte embrionaria, tasa de preñez.

Abstract

With the aim of evaluating the influence of equine chorionic gonadotropin (eCG) application after artificial insemination on conception rate and reduction of embryonic losses in Girolando cows, a trial was conducted at "Hacienda Manantiales del Rocío S.A.", located in Manabí Province, Ecuador. During the experiment, two groups of 30 animals each were established, all subjected to the same insemination protocol. The response of a control group (without treatment) was compared to that of a group treated with 400 IU of eCG at 20, 30, and 40 days after fixed-time artificial insemination (FTAI). Each experimental unit consisted of one Girolando cow. Conception rate (%) and early embryonic mortality (%) were determined through ultrasound analysis to identify changes in pregnancy status. Comparisons were made using the Student's t-test. The results showed conception rates of 66.7% in treated cows and 53.3% in untreated cows. The application of eCG after artificial insemination did not significantly affect conception rate or early embryonic loss in Girolando cows.

Keywords: Artificial insemination, embryo, embryonic mortality, pregnancy rate.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la producción de leche observado en los últimos 50 años ha ido acompañado de una disminución en la fertilidad de las vacas tanto en sistemas basados en altos insumos como en sistemas menos intensivos basados en pastos (1). Se han desarrollado muchos métodos para controlar la actividad reproductiva, cuyo objetivo principal es aumentar la eficiencia reproductiva mediante la administración de varias hormonas (2); sin embargo, la interrupción del embarazo es probablemente la principal fuente de pérdidas económicas sufridas por los productores lecheros, ya que sus efectos se reflejan en tasas de concepción reducidas con los consiguientes efectos en la eficiencia de la producción y la rentabilidad.

El período embrionario de gestación se extiende desde la concepción hasta el final de la etapa de diferenciación (alrededor de 42 días), y el período fetal se extiende desde el día 42 hasta el parto. Diversas investigaciones demuestran que aproximadamente del 80 al 90% de las vacas y novillas inseminadas en el momento adecuado conciben, pero se producen pérdidas notables en los embarazos a partir de entonces, con embarazos que no llegan a término en el 45 al 65% de las vacas lecheras lactantes, del 10 al 30% de las vacas lactantes de carne, y 10 a 20% de novillas de carne y leche (3, 4).

Una alternativa para incrementar la tasa de concepción es la administración de gonadotropina coriónica equina (eCG) al momento de terminar el tratamiento con progesterona (P4), la cual se une a los receptores de la hormona folículo estimulante y la hormona luteinizante, provocando el incremento de la tasa de crecimiento del folículo dominante, estimula la expresión de enzimas esteroidogénicas, principalmente de E2 folicular, con la consiguiente presentación del pico preovulatorio de la hormona luteinizante. Adicionalmente, la eCG, produce un aumento en el diámetro del cuerpo lúteo e incrementa la producción de P4 posterior a la inseminación artificial (6).

Estudios realizados en ganado lechero (*Bos indicus)* anéstrico bajo protocolos de sincronización reportaron incrementos en la tasa de concepción mediante la administración de 400 UI de eCG, aunado a la extracción del dispositivo de liberación de P4 intravaginal y la administración de PG (7, 8, 9); sin embargo, numerosas investigaciones han fallado en replicar estas mejoras en la tasa de concepción tras el suministro de eCG (10, 11, 12, 13).

En tal sentido, se estima que la administración de eCG podría favorecer el desarrollo folicular y favorecer la actividad luteal, con lo cual se mejoraría el porcentaje de preñez. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar la influencia de la aplicación de eCG, posterior a la inseminación artificial, sobre la tasa de preñez y la reducción de las pérdidas embrionarias en vacas Girolando la “Hacienda Manantiales del Rocío S.A.”, provincia de Manabí, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la “Hacienda Manantiales del Roció” S.A., localizada en el cantón Montecristi de la provincia de Manabí, Ecuador, ubicada entre las coordenadas 1º 14’ 22” S y 80º 45’ 08” W. Las condiciones climáticas de la zona se caracterizan por una temperatura promedio que varía entre 19 y 29° C, precipitación anual que oscila entre 600-800 mm, evaporación superior a 1230 mm y más de 80% de humedad relativa durante todo el año.

El ensayo se desarrolló durante la época seca (agosto – octubre) del año 2021. Dentro del rebaño de vacas Girolando, se revisaron los registros para identificar los semovientes que contaron con 2 o 3 partos, seguidamente se procedió al pesaje para seleccionar animales con un rango de peso de 350 a 450 kg y condición corporal que varió entre 2,5 y 3,0; finalmente, se realizó chequeo ginecológico para descartar vacas en gestación o con problemas sanitarios.

Se evaluaron dos tratamientos: uno con aplicación de tres dosis de la hormona coriónica equina (eCG), distribuidas a los 20; 30 y 40 días después de la IATF y el otro sin aplicación de eCG después de la inseminación. La dosis utilizada en cada aplicación fue de 400 UI. La unidad experimental estuvo representada por una vaca de la raza Girolando, generando 30 repeticiones para cada tratamiento, para un total de 60 UE.

El ensayo se condujo bajo condiciones estabuladas de los animales, con alimentación en base al suministro de 50 $kg.dia^{-1}.vaca^{-1}$ de pasto mombasa *(Panicum maximun*) suplementados con raciones de 2 kg de alimento concentrado comercial contentivo de 14% de proteína, fraccionados diariamente en los ordeños de la mañana y de la tarde, adicionalmente se aportó una ración diaria de 150 g de sal mineral.

El protocolo de sincronización del estro fue similar para ambos grupos de tratamiento, a través de la inserción de dispositivos intravaginales impregnados de P4 (Sincrogest® 1.2 g, empresa Ourofino), y la inyección intramuscular de 2 mg de benzoato de estradiol (Sincrodiol®, empresa Ourofino). El retiro de los dispositivos se realizó al octavo día posterior a su colocación. A continuación, se inyectaron 2 mL de prostaglandina (Sincrocio®, empresa Ourofino), 400 UI de eCG (equivalente a 2 mL sicro eCG®, empresa Ourofino), y 1 mg de cipionato de estradiol (Sincro CP®, empresa Ourofino). La IATF de todos los semovientes se realizó entre las 52 a 56 horas posteriores al retiro de los dispositivos.

A cada animal se le caracterizó morfométricamente la condición ovárica por medio de un análisis ecográfico mediante ultrasonografía transrectal utilizando un equipo KAIXIN RKU10 (Xuzhou, Kaixin Electronic Instrument, China), provisto con sonda lineal de 6,5 MHz; Las variables evaluadas fueron las siguientes: Tamaño de

ovarios (mm), tamaño del folículo domínate (mm), tamaño de cuerpo lúteo (mm) y tamaño de folículo preovulatorio (mm).

La tasa de concepción (%) y la muerte embrionaria temprana (%) en respuesta al suministro de la hormona eCG se determinaron a través de los cambios en la condición de gestación de las vacas en diferentes intervalos de tiempo (30, 40 y 50 días después de IATF), determinada por medio de análisis ecográfico.

Luego de la organización y tabulación de los datos por medio del software ofimática Excel®, se construyeron cuadros y figuras para realizar el análisis descriptivo de los resultados. Previo al análisis estadístico, para todas las variables se constató la homogeneidad de varianza y la normalidad de los errores. Las inferencias estadísticas se realizaron por medio de la prueba de T de Student para muestras independientes para el caso de comparaciones entre tratamientos; y en el caso de contrastes entre diferentes periodos de evaluación, los cambios en la tasa de concepción y la muerte embrionaria temprana se analizaron por medio del test de Student para muestras pareadas. Dichos análisis se ejecutaron a través del paquete estadístico InfoStat® (14).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis descriptivo de las variables morfométricas de la condición ovárica de las vacas Girolando involucradas en la investigación se muestra en el cuadro 1, donde se destaca que los ovarios tuvieron un tamaño promedio de 20,32 ± 0,46 mm y 19,65 ± 0,64 mm, para el derecho e izquierdo, respectivamente; similarmente, la mediana alcanzó valores de 20,18 y 19,16 mm, muy cercanos a los valores promedio, lo cual indica una distribución normal de los datos; con un rango intercuartílico de 17,29 a 22,34 y 15,85 a 23,73, respectivamente; mientras que, los coeficientes de variación resultaron medios a bajos, según los criterios de (15), con valores de 16,44 y 23,10%, respectivamente.

Para la variable tamaño del folículo preovulatorio, la media y la mediana también mostraron valores similares, con valores de 14,53 ± 13,89 y 14,16 mm, respectivamente; presentando la mayor variabilidad representado por un coeficiente de variación de 39,83%. En lo que respecta al tamaño del cuerpo lúteo, se obtuvo un promedio de 15,66 ± 3,30 mm y una mediana de 15,80 mm y un coeficiente de variación de 24,14%.

Se ha documentado que la administración de eCG al ganado *Bos indicus* aumenta el desarrollo de folículos ováricos pequeños, medianos y grandes, aumenta la tasa de ovulación del folículo dominante y aumenta la secreción de P4 durante la fase lútea e incrementa la tasa de preñez por inseminación artificial (16). Similarmente, (17) reportaron que las vacas Nelore (*Bos indicus*) con eCG incrementaron la tasa de crecimiento folicular, el diámetro del folículo más grande, la tasa de ovulación, el tamaño del CL y las concentraciones séricas de P4, lo cual eCG mejoró los resultados reproductivos después de la IATF, incluso en ciclos posteriores de reproducción.

Por su parte, (18) reportaron que la aplicación de una dosis adicional de eCG a los 14 días post IATF, incrementó el desarrollo del cuerpo lúteo y, en consecuencia, mejoró la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas en condiciones al pastoreo.

Tabla 1. Resumen descriptivo de las variables tamaño de ovarios, del folículo preovulatorio y del cuerpo lúteo (mm) de vacas Girolando

Variable	n	Media	Mediana	Primer cuartil	Tercer cuartil	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Ovario derecho (mm)	60	20,32	20,18	17,29	22,34	0,46	16,44
Ovario izquierdo (mm)	60	19,65	19,16	15,85	23,73	0,64	23,10
Folículo preovulatorio (mm)	60	14,53	14,16	10,00	17,50	13,89	39,83
Cuerpo lúteo (mm)	60	13,66	13,80	12,09	15,05	3,30	24,14

En contraste, experiencias de (10) reportan que la suplementación de los protocolos de inseminación artificial basados en P4 con eCG no afectó la dinámica folicular ovárica alrededor de la ovulación o las características del futuro cuerpo lúteo formado, y tampoco aumentó la tasa de crecimiento folicular ni la tasa de ovulación.

La comparación la tasa de concepción de vacas Girolando a los 30 días después de la inseminación en respuesta a la aplicación de eCG no distinguió diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para los tratamientos evaluados: solo 20 de las 30 vacas tratadas con la hormona eCG resultaron preñadas (66,7%), mientras que, en las vacas sin aplicación de la hormona, solo 16 de ellas resultaron preñadas (53,3%) y las 14 restantes no tuvieron concepción embrionaria (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de la tasa de concepción (%) de vacas Girolando tratadas con ECG a los 30 días después de la inseminación artificial a tiempo fijo (dd IATF).

Tratamiento	N	Promedio	Varianza	T	P
ECG	30	66,7	23,4	0,796	0,215 ns
Testigo	30	53,3	25,6		

ns= no significativo

En concordancia con estos resultados, (19) determinó que administrar 400 UI de eCG durante la IATF y/o seis días posterior a la misma no influyó en la cantidad y diámetro del cuerpo lúteo ni en los folículos, y tampoco incidió en el porcentaje de gestación a los 45 días post-IATF en vacas de carne.

A pesar de la carencia de diferencias estadísticas, se encontró la tendencia a mejorar las tasas de preñez con la aplicación de eCG. Resultados similares han sido reportados por varios investigadores, quienes señalan que la aplicación de esta hormona incrementa la probabilidad de que una vaca preñada, con lo cual habría que evaluar la relación costo-beneficio para su aplicación (13, 20, 21).

Por su parte, (22) informaron que la mortalidad embrionaria en las vacas sometidas a la hormona eCG fue del 12% menor a las pérdidas con el tratamiento control, y resaltó que las vacas que recibieron eCG consiguieron un porcentaje de concepción más elevado con un 84%, en contraste con el 68% alcanzado en vacas que fueron tratadas con PGF2α+BE.

Hallazgos más consistentes han demostrado que la aplicación de eCG generó mejoras en la tasa de concepción de ganado lechero Bos indicus de Nueva Zelanda (9), aumentos significativos del porcentaje de concepción en los días 30 y 55 después de IATF (23), incrementos en la tasa de preñez para vacas Bos indicus y mestizos de Bos indicus x Bos taurus (24)

En la figura 1 se muestra la evolución de la condición reproductiva de las vacas Girolando que resultaron preñadas en respuesta a la aplicación post-IATF de la hormona eCG. La prueba de T Student pareada no distinguió diferencias estadísticas (P>0,05) para ninguno de los intervalos evaluados. En el caso de las vacas tratadas con la hormona eCG, a los 40 días se mantuvo el porcentaje de preñez y solo se registró una pérdida embrionaria en la evaluación correspondiente a los 50 días después del IATF; mientras que, en el caso de los animales sin aplicación de la hormona, se detectó una pérdida embrionaria en cada una de las evaluaciones subsiguientes.

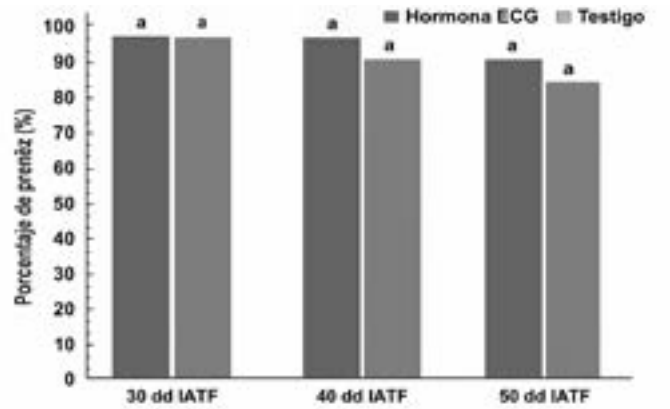


Figura 1. Evolución a través del tiempo del porcentaje de preñez de vacas Girolando en respuesta aplicación de la hormona eCG después de la IATF.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (10) y por (11), quienes reportaron que la aplicación adicional de eCG no tuvo impacto significativo sobre el crecimiento folicular, la tasa de ovulación, ni la tasa de preñez en ganado lechero *Bos indicus*. Similarmente, (20) no encontraron diferencias estadísticas en el porcentaje de preñez de vacas Brown Swiss, obteniendo tasas de concepción cercanas al 50%.

Por su parte, (25) afirman que el suministro suplementario de eCG mejoró significativamente los porcentajes de preñez alcanzando rangos de 61 a 73%; mientras que, (26) reportaron incrementos en la tasa de preñez en vacas raza Charolais tratadas con eCG (57,5%) en comparación con las vacas no tratadas (42,5%).

En relación a la muerte embrionaria, (27) señala que sus causas son muy diversas y abarca factores relacionados con la madre, de origen genético y endócrino; del embrión polispermo, consanguinidad o factores ambientales (estrés calórico), factores químicos, infecciones o procedimientos deficientes de inseminación. (22) reportaron que la aplicación de eCG en vacas Holstein no registró muerte embrionaria (0%), mientras que, en los animales no tratados, el porcentaje de pérdidas alcanzó un valor de 12%.

(23) encontraron que la administración de eCG posterior a la inseminación artificial no provocó efecto sobre porcentaje de preñez por disminución de la mortalidad embrionaria en vacas Braford de pobrecondición corporal. Por su parte, (28) reportaron que con el suministro de eCG se obtuvo menos del 6% de pérdidas embrionarias en el ganado de carne después del primer mes de preñez.

CONCLUSIONES

Se encontró la tendencia a mejorar las tasas de concepción con la aplicación de eCG. Aplicaciones en periodos posteriores a la inseminación artificial no afectaron significativamente la tasa de concepción ni la muerte embrionaria temprana en vacas Girolando.

LITERATURA CITADA

1. Diskin MG, Waters SM, Parr MH, Kenny D. Pregnancy losses in cattle: potential for improvement. *Reproduction, Fertility and Development*. 2016; 28(2): 83-93. http://dx.doi.org/10.1071/RD15366

2. Kuru M, Kükürt A, Oral H, Öğün M. Clinical use of progesterone and its relation to oxidative stress in ruminants. In: Drevensek G (Ed.): Sex Hormones in Neurodegenerative Processes and Diseases. *IntechOpen, England.* 2018; 303-327. https://doi.org/10.5772/intechopen.73311

3. Pohler KG, Green JA, Geary TW, Peres RF, Pereira MH, Vasconcelos JL, Smith MF. Regulation of Implantation and Establishment of Pregnancy in Mam-

mals. Adv. Anat. Embryol. Cell Biol. 2015; 216: 253–270. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15856-3_13

4. Gatea AO, Smith M, Pohler K, Egen T, Pereira MH, Vasconselos J, Lawrence J, Green J. The ability to predict pregnancy loss in cattle with ELISAs that detect pregnancy-associated glycoproteins is antibody dependent. *Theriogenology*. 2018; 108: 269-276. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.12.021

5. Wiltbank MC, Baez GM, Garcia-Guerra A, Toledo MZ, Monteiro PL, Melo LF, Ochoa JC, Santos JE, Sartori R. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2016; 86(1): 239-253. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037

6. Núñez-Olivera R, De Castro T, García-Pintos C, Bó G, Piaggio J, Menchaca A. Ovulatory response and luteal function after eCG administration at the end of a progesterone and estradiol'based treatment in postpartum anestrous beef cattle. *Animal reproduction science.* 2014; 146(3-4): 111-116. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.02.017

7. Garcia-Ispierto I, López-Helguera I, Martino A, López-Gatius F. Reproductive performance of anoestrous high-producing dairy cows improved by adding equine chorionic gonadotrophin to a progesterone based oestrous synchronizing protocol. *Reproduction in domestic animals.* 2012; 47(5): 752-758. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01954.x

8. Bryan MA, Bó G, Mapletoft RJ, Emslie FR. The use of equine chorionic gonadotropin in the treatment of anestrous dairy cows in gonadotropin-releasing hormone/progesterone protocols of 6 or 7 days. *Journal of dairy science.* 2013; 96(1): 122-131. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5452.

9. Shephard RW. Efficacy of inclusion of equine chorionic gonadotrophin into a treatment protocol for anoestrous dairy cows. *New Zealand veterinary journal*. 2013; 61(6): 330-336. http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2013.809633

10. Ferreira RM, Ayres H, Sales JNS, Souza AH, Rodrigues CA, Baruselli PS. Effect of different doses of equine chorionic gonadotropin on follicular and luteal dynamics and P/AI of high-producing Holstein cows. *Animal reproduction science.* 2013; 140 (1-2): 26-33. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.04.014

11. Pulley SL, Wallace LD, Mellieon JH, Stevenson J. Ovarian characteristics, serum concentrations of progesterone and estradiol, and fertility in lactating dairy cows in response to equine chorionic gonadotropin. *Theriogenology*. 2013; 79(1): 127-134. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.09.017.

12. Garcia-Ispierto I, Lopez-Gatius F. Effects of different five-day progesterone-based fixed-time AI protocols on follicular/luteal dynamics and fertility in dairy cows. *Journal of Reproduction and Development.* 2014; 60(6): 426-432. https://doi.org/10.1262/jrd.2014-063.

13. Randi F, Sánchez J, Herlihy M, Valenza A, Kenny D, Butler S, Lonergan P. Effect of equine chorionic gonadotropin treatment during a progesterone-based timed artificial insemination program on reproductive performance in seasonal-calving lactating dairy cows. *Journal of dairy science*. 2018; 101(11): 10526-10535. https://doi.org/10.3168/jds.2018-14495.

14. Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, González L, Tablada M, Robledo C. InfoStat versión 2020 [software]. Córdoba (AR): Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba; 2020. Disponible en: https://www.infostat.com.ar/

15. Pimentel-Gomes F. *Curso de estatística experimental.* 6.ª ed. Piracicaba: Livraria Nobel; 1984. 238 p.

16. Rowe SM, Pryor L, Tranter W, Hosie J, Cavalieri J. Effect of equine chorionic gonadotropin on reproductive performance in a dairy herd in Northern Queensland, Australia. *Theriogenology*. 2019; 125: 30–36. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.10.016

17. Sa Filho MF, Ayres H, Ferreira RM, Marques MO, Reis EL, Silva RC, Rodrigues CA, Madureira EH, Bo GA, Baruselli PS. Equine chorionic gonadotropin and gonadotropin-releasing hormone enhance fertility in a norgestomet-based, timed artificial insemination protocol in suckled Nelore (Bos indicus) cows. *Theriogenology.* 2010; 73, 651–658. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.11.004

18. Ortiz N, Ayala L, Marini P. Efecto de la eCG antes o después de la inseminación artificial a tiempo fijo sobre la dinámica folicular y la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas en la Amazonía Ecuatoriana. *Maskana.* 2017; 8: 49-51. https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1485

19. López-Chavarría RM. Efecto de la hormona gonadotropina coriónica equina (eCG) post inseminación en vacas de carne. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 2018; Trabajo de Grado. 50 pp. http://eprints.uanl.mx/19996/1/1080313937.pdf

20. Yánez-Avalos DO, Barbona I, López-Parra JC, Marini PR. Protocolo J-synch con y sin eCG en vacas Brown Swiss y sus cruzas con Bos Indicus en la amazonía ecuatoriana. LA GRANJA. *Revista de Ciencias de la Vida.* 2021; 33(1): 8-20. http://orcid.org/0000-0001-9306-3489

21. Tafur GA, Valderrama NLM. Concepción en inseminación artificial a tiempo fijo con y sin hormona gonadotrofina coriónica equina. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería.* 2021; 4(2): 26-30. https://doi.org/10.25127/ucni.v4i2.724

22. Carrasco J, Aragadvay G, Delgado F. Efecto de la gonadotropina coriónica equina (ECG), sobre la tasa de concepción en vacas Holstein, sincronizadas con prostaglandina y benzoato de estradiol e insemina-

das a tiempo fijo. *Polo del Conocimiento.* 2024; 9(8): 3628-3645. https://doi.org/10.23857/pc.v9i8.7903

23. Errico S, Insaugarat J, Uslenghi G, Callejas S. Efecto de la gonadotrofina coriónica equina sobre el porcentaje de preñez y pérdidas embrionarias en vacas Braford. *Revista veterinaria.* 2016; 27(2): 121-123.

24. Bo GA, Cutais L, Peres LC, Pincinato D, Maraña D, Baruselli PS. Technologies for fixed-time artificial insemination and their influence on reproductive performance of Bos indicus cattle. *Bioscientifica Proceedings.* 2019; 6: 223-236. http://dx.doi.org/10.1530/biosciprocs.6.014

25. Aba M, Chayer R, Uslengh G, González S, Callejas S. Efecto de la gonadotrofina coriónica equina y del inseminador sobre la preñez en vacas con cría en inseminación artificial a tiempo fijo. *Revista Veterinaria.* 2013; 24(1): 25-28. http://dx.doi.org/10.30972/vet.2411145

26. Castro-Piña RB. Efecto de la gonadotrofina coriónica equina (eCG) en la tasa de preñez en vacas raza Charolais con protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en condiciones de altitud. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2022; 56 pp. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21602/4/UPS-CT009498.pdf

27. Ortiz, N. 2019. Perdida embrionaria en bovinos (Trabajo de Grado, Facultad De Ciencias de la Salud, Medicina Veterinaría y Zootecnia, Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué). Repositorio institucional UCC. https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/14411

28. Reese ST, Franco GA, Poole RK, Hood R, Fernadez-Montero LF, Oliveira-Filho RV, Cooke RF, Pohler KG. Pregnancy loss in beef cattle: A meta-analysis. *Animal Reproduction Science.* 2020; 212: 106-251. https://doi. org/10.1016/j.anireprosci.2019.106251.

REVISTA ESPAMCIENCIA

16
Nº1
2025

Estructura y diversidad del bosque semihúmedo en la comunidad Guayacán, parroquia La América, Jipijapa, Ecuador

Structure and diversity of the semi-humid forest in the Guayacán community, La América parish, Jipijapa, Ecuador

Máximo Terencio Ganchozo Quimis[1]
Dayanara Lilibeth Santistevan Parrales[2]
Gema Stephanya Briones Anchundia[2]
Marcos Pedro Ramos Rodriguez[1]
Valeria Lissette Cali Ligua[3]
César Alberto Cabrera Verdesoto[1]

[1]Universidad Estatal del Sur de Manabí, Campus Los Ángeles, Km 1½ vía Jipijapa -Noboa, Jipijapa, Manabí, Ecuador
[2]Profesional autónomo, Manabí, Ecuador
[3]Universidad Estatal del Sur de Manabí, Campus Paján, Manabí, Ecuador

Autor de correspondencia: cesar.cabrera@unesum.edu.ec

Revista ESPAMCIENCIA
ISSN: 1390-8103

CC BY NC SA

VOL.16(1):41-49
DOI: 10.51260/1390597X.545
Fecha de recepción: 13 de marzo de 2025
Fecha de aceptación: 15 de junio de 2025
Fecha de publicación: 30 de junio de 2025

Estructura y diversidad del bosque semihúmedo en la comunidad Guayacán, parroquia La América, Jipijapa, Ecuador

Structure and diversity of the semi-humid forest in the Guayacán community, La América parish, Jipijapa, Ecuador

Resumen

La estructura de la vegetación arbórea permite analizar los estratos del bosque (estructura vertical) y la distribución de abundancia por clases diamétricas (estructura horizontal), proporcionando información clave sobre la dinámica forestal. Este estudio tuvo como objetivo describir la composición y la estructura vertical y horizontal del bosque semihúmedo de la comunidad Guayacán, parroquia La América, Jipijapa, Ecuador. Para ello, se establecieron seis parcelas de muestreo, donde se registraron 99 individuos arbóreos, pertenecientes a 30 especies y 16 familias botánicas. Fabaceae destacó como la familia con mayor riqueza, aportando 10 especies. El análisis de las distribuciones diamétrica y altimétrica evidenció un predominio de árboles jóvenes y pocos individuos en estado de madurez, lo que sugiere un bosque en etapa de regeneración. Entre las especies con mayor importancia ecológica se identificaron *Sassafras albidum* (Nutt.) Nees, *Cordia eriostigma* Pittier, y *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Cham., mientras que las de menor importancia incluyeron *Syzygium jambos* (L.) Alston, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., y *Persea americana* Mill. En términos de diversidad, el sitio mostró una diversidad media según las especies dominantes. Sin embargo, los índices de diversidad alfa, como Margalef y Shannon-Wiener, reflejaron una alta diversidad específica, destacando la riqueza del ecosistema semihúmedo estudiado.

Palabras clave: Composición arbórea, Fabaceae, índices alfa, regeneración forestal, riqueza de especies.

Abstract

The structure of tree vegetation allows for the analysis of forest strata (vertical structure) and the distribution of abundance by diameter classes (horizontal structure), providing key information on forest dynamics. This study aimed to describe the composition and the vertical and horizontal structure of the semi-humid forest in the Guayacán community, La América Parish, Jipijapa, Ecuador. Six sampling plots were established, where 99 tree individuals were recorded, belonging to 30 species and 16 botanical families. Fabaceae stood out as the richest family, contributing 10 species. The analysis of diameter and height distributions revealed a predominance of young trees and few mature individuals, suggesting a forest in a regeneration stage. Among the species with the highest ecological importance were *Sassafras albidum* (Nutt.) Nees, *Cordia eriostigma* Pittier, and *Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Cham., while species with the lowest ecological importance included Syzygium jambos* (L.) Alston, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., and *Persea americana* Mill. In terms of diversity, the site showed medium diversity according to the dominant species. However, alpha diversity indexes, such as Margalef and Shannon-Wiener, reflected high species diversity, highlighting the richness of the studied semi-humid ecosystem.

Keywords: Tree composition, Fabaceae, alpha indexes, forest regeneration, species richness.

INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe albergan una de las mayores concentraciones de biodiversidad del planeta. Seis de los países más biodiversos del mundo están en esta región: Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela. Además, es hogar de la selva tropical del Amazonas, considerada el ecosistema con mayor biodiversidad a nivel global. En Sudamérica se encuentra más del 40% de la biodiversidad mundial y más de una cuarta parte de sus bosques (1).

Ecuador es un país megadiverso, los bosques deciduos constituyen un ecosistema frágil donde aproximadamente el 75% de las especies pierden sus hojas estacionalmente. Estos bosques, sometidos a condiciones climáticas extremas y explotación maderera, representan un recurso clave tanto para la biodiversidad como para la producción forestal (2).

Sin embargo, la biodiversidad enfrenta serias amenazas, siendo la pérdida de hábitats por la expansión agrícola y los pastizales para ganadería la más grave. Aunque la tasa de pérdida se ha reducido en la última década, el área transformada sigue siendo considerablemente alta (3).

La costa ecuatoriana alberga diversos tipos de bosques, como los manglares, los bosques húmedos tropicales de Esmeraldas, y los semihúmedos en zonas más áridas como el sur de Manabí. Históricamente, estos bosques cubrían gran parte del territorio costero y amazónico, pero la expansión agroindustrial ha reducido significativamente su cobertura (4).

La estructura horizontal de los bosques permite analizar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie forestal. Este análisis, realizado mediante índices como la abundancia, frecuencia y dominancia, ofrece información clave sobre la importancia ecológica de cada especie dentro del ecosistema (5). Estos parámetros permiten evaluar la distribución espacial y el peso ecológico de las especies arbóreas, como se ha demostrado en estudios de bosques tropicales y andinos (6). Al mismo tiempo, la estructura de las formaciones vegetales es un indicador fundamental para comprender la composición, el funcionamiento y los procesos del hábitat, los cuales están estrechamente relacionados con factores como el tipo biológico, las estrategias de multiplicación y las formas de colonización (7). Estos análisis son esenciales para la planificación de la conservación, manejo sostenible y restauración de los ecosistemas forestales. La comunidad Guayacán, ubicada en la parroquia La América del cantón Jipijapa, en Manabí, Ecuador, está cubierta mayoritariamente por bosques semihúmedos, estos han sufrido una alarmante destrucción debido a la deforestación por la industria maderera y la agricultura comercial. Este estudio tuvo objetivo caracterizar la composición florística y las propiedades del suelo en el bosque semihúmedo de la comunidad Guayacán, para contribuir al conocimiento y conservación de este valioso ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la comunidad Guayacán, parroquia La América, cantón Jipijapa, provincia de Manabí. Este sitio se caracteriza por un clima con una temperatura promedio anual de 22°C y precipitaciones medias anuales que varían entre 1,000 y 1,300 mm (8). La finca tiene una superficie total de 16 hectáreas, en las cuales se encuentran cultivos agrícolas, especies forestales maderables y no maderables, muchas de ellas de origen frutal. El área de estudio está ubicada en las coordenadas UTM: X: 5613487, Y: 9836202.

Se realizaron visitas de campo para analizar in situ la composición y estructura del bosque semihúmedo de la comunidad Guayacán, parroquia La América. Posteriormente, se llevó a cabo un inventario forestal, apoyado por un guía local del bosque que proporcionó los nombres comunes de las especies presentes. La información recolectada fue validada mediante procedimientos de identificación taxonómica apoyados en el uso de claves botánicas, bibliografía especializada y la asesoría directa de expertos en dendrología y botánica de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM). Este proceso es coherente con metodologías reconocidas que combinan el uso de claves de identificación, comparación con ejemplares de herbario y consulta con especialistas, como lo establece el estudio florístico de (9), en el que la precisión taxonómica fue garantizada mediante una integración sistemática de técnicas clásicas y asesoría experta. Finalmente, la información recolectada fue corroborada utilizando una combinación de recursos físicos y digitales. Se recurrió al herbario universitario para la comparación directa de especímenes, y a plataformas en línea como Trópicos, que ofrece datos taxonómicos validados por el (10) Además, se consultaron fuentes bibliográficas especializadas, incluyendo literatura científica indexada y el libro Especies forestales de los bosques secos del Ecuador de (11). Este enfoque de validación está alineado con metodologías recientes, como la descrita por (12), quienes destacan la utilidad de la digitalización de muestras de herbario y el uso de herramientas digitales para fortalecer la precisión en la identificación de especies botánicas.

Inventario forestal

El inventario forestal se realizó siguiendo la metodología descrita por (13, 14, 15). La metodología consistió en dividir la población en clases o estratos homogéneos y, posteriormente, aplicar un muestreo aleatorio simple dentro de cada subgrupo. Todas las unidades de muestreo fueron georreferenciadas utilizando un GPS.

Tamaño de parcelas

El tamaño de las parcelas de muestreo se determinó aplicando la fórmula de intensidad propuesta por (16), descrita en la Ecuación 1. Esta metodología permitió calcular el área óptima para evaluar de manera precisa la composición y estructura del bosque.

$$IM=(A \times \% \text{ de muestreo})/m^2 \quad \text{(Ecu. 1)}$$

Donde:

IM= Intensidad de Muestreo
A= Área (superficie en hectáreas de la plantación o bosque)
m2 = Superficie de una parcela
% = Porcentaje de muestreo

Las parcelas o unidades de muestreo se establecieron siguiendo la metodología propuesta (17), quienes plantean lo siguiente:

Las parcelas deben tener dimensiones de 20 x 50 metros, con la longitud orientada de manera aleatoria utilizando una brújula. Se registra la orientación trazada para la parcela y se define cuál lado será el origen (0 m) con el fin de delimitar los cuatro cuadrantes. La parcela se estructura mediante la colocación de nueve varillas permanentes y el uso de tres cintas métricas de 20 metros y tres de 50 metros para trazar el área y registrar la ubicación de las plantas presentes.

Para el área de estudio en la comunidad Guayacán, y considerando modificaciones propuestas por la autora, se instalaron seis parcelas (Figura 1) con dimensiones ajustadas a 30 x 50 metros, abarcando un área total de 1,500 m² por parcela. Este diseño permitió obtener datos detallados y representativos de la composición y estructura del bosque semihúmedo de la zona.

Figura 1. Ubicación de la zona de la comunidad Guayacán e instalación de las parcelas.

Estructura Vertical

Siguiendo la metodología descrita por (18), la estructura vertical del bosque se analizó en función de su fisionomía, considerando el crecimiento, abundancia, dominancia, frecuencia y riqueza de especies. Los datos se agruparon en seis parcelas, utilizando intervalos de clases de 5 metros para clasificar las alturas de los árboles, lo que permitió identificar los distintos estratos del bosque.

Estructura horizontal

La estructura horizontal se evaluó mediante la identificación de especies arbóreas, utilizando el crecimiento diamétrico en intervalos de 10 cm, según lo propuesto por (19). Esta clasificación permitió analizar la distribución diamétrica y verificar el patrón característico de "J invertida", indicador de regeneración en bosques naturales. Además, se consideraron el Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE) y los índices de diversidad (20) para comprender la dinámica del bosque.

Indices de diversidad

De acuerdo con (21), los índices de diversidad estiman la heterogeneidad de una comunidad considerando el número de especies presentes, la cantidad de individuos por especie y su distribución en el espacio. Los índices utilizados en este estudio incluyeron el IVIE, el índice de Shannon-Weaver, el índice de Simpson y el índice de riqueza de Margalef.

Indice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE)

El cálculo del IVIE se realizó utilizando los procedimientos propuestos por (22). Este índice mide la importancia ecológica relativa de cada especie dentro de la comunidad vegetal, considerando tres parámetros clave: abundancia, frecuencia y dominancia. Para su cálculo se aplicó la ecuación 2, lo que permitió identificar las especies con mayor peso ecológico en el bosque estudiado.

$$I.V.I.E=(Ar_i+Fr_i + Dr_i)/3 \quad \text{(Ecu. 2)}$$

Donde:

Ar_i= Abundancia relativa
Fr_i= Frecuencia relativa
Dr_i= Dominancia relativa

Índice de Shannon- Wiener

El Índice de Shannon-Weaver (H'), según (23), citado por (24); (25) mide la uniformidad en la distribución de los valores de importancia de las especies dentro de una muestra. Este índice asume que los individuos son seleccionados de manera aleatoria y que todas las especies presentes están representadas en la muestra.
El cálculo del índice se realizó siguiendo los criterios propuestos por los autores mencionados, utilizando la ecuación 3, para estimar la diversidad y uniformidad en las áreas estudiadas.

$$H'=-\sum(Pi*\ln Pi) \quad \text{(Ecu. 3)}$$

Donde:

H= Índice de Shannon-Wiener
Pi = Abundancia relativa
Ln = Logaritmo natural

El índice de Shannon-Wiener adquiere valores que oscilan entre cero, cuando existe una sola especie en la comunidad (es decir, sin diversidad), y un valor máximo equivalente al logaritmo natural del número total de especies (ln S), cuando todas las especies están representadas por un número igual de individuos. Este índice combina dos componentes esenciales de la diversidad: la riqueza de especies (número total de especies) y la equitatividad (distribución uniforme de los individuos entre las especies), siendo útil para evaluar la complejidad y estabilidad ecológica de un ecosistema.

Indice de diversidad de Simpson

El índice mide la riqueza de los organismos, expresando la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar dentro de un hábitat pertenezcan a la misma especie (23), citado en (26). Para este análisis, se utilizó la ecuación 4, considerando que su valor es inverso a la equidad. Por ello, la diversidad se calcula como 1 - λ, proporcionando una medida complementaria del equilibrio en la distribución de las especies.

$$\lambda = \sum (pi)^2 \quad \text{(Ecu. 4)}$$

Donde:

pi = abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Esté índice indica que entre rangos de 0 a 0,5 la diversidad es baja, entre 0,6 a 0,9 existe una diversidad media y 1 hay presencia de diversidad alta en la estructura de los bosques.

Índice de riqueza de Margalef

El índice proporciona una manera sencilla y efectiva de medir la biodiversidad, ya que ofrece información sobre la riqueza de especies en la vegetación. Evalúa el número de especies en relación con el número de individuos registrados o la cantidad de especies por unidad de área dentro de una muestra (27). Para su cálculo, se utilizó la ecuación 5.

$$DMg=(S-1)/\ln (n) \quad \text{(Ecu. 5)}$$

Donde:

D_Mg= Índice de Margalef
S= Número de especies
N= Número total de individuos
Ln = logaritmo natural

RESULTADOS Y DISUSIÓN

La presente investigación permitió caracterizar la estructura horizontal del bosque semihúmedo estudiado, evidenciando una composición florística de 30 especies distribuidas en 16 familias y un total de 99 individuos, como se observa en la tabla 1. Esta diversidad, aunque moderada en términos cuantitativos, refleja una importante representación de Fabaceae como la familia dominante, lo que concuerda con varios estudios realizados en ecosistemas tropicales (28). La predominancia de Fabaceae sugiere su alta capacidad de adaptación y colonización, posiblemente atribuible a su eficiencia en la fijación de nitrógeno y tolerancia a condiciones edáficas variables.

Tabla 1. Identificación de las especies arbóreas del bosque semihúmedo de la comunidad Guayacán.

Nº	Nombre científico	Familia
1	*Cordia sriostigma* Pittier	Boraginaceae
2	*Sassafras albidum* (Nutt.) Nees	Rutaceae
3	*Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Cham	Boraginaceae
4	Triplaris cumingiana Fisch. y CA Mey	Polygonaceae
5	*Jacaranda mimosifolia*	Bignoniaceae
6	*Castilla elástica* Cerv.	Sapindaceae
7	*Cecropia máxima* Snethl	Urticaceae
8	*Nectandra* spp.	Lauraceae
9	*Gustavia serrata* S.A.Mori	Lecythidaceae
10	*Erythrina velutina* Willd.	Fabaceae
11	*Mangifera indica* Wall.	Anacardiaceae
12	*Inga fendleriana* Benth.	Fabaceae
13	*Miconia quadripara*	Melastomataceae
14	*Guazuma ulmifolia* Lam.	Fabaceae
15	*Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd.	Fabaceae
16	*Inga spectabilis* (Vahl) Willd.	Fabaceae
17	*Cedrela montana* Moritz ex Turcz.	Meliaceae
18	*Cupania cinérea* Poepp. & Endl.	Sapindaceae
19	*Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng.	Bixaceae
20	*Pithecellobium arboreum* (L.) Urb.	Fabaceae
21	*Schizolobium parahybum* (Vell.) S.F.Blake	Caesalpiniaceae
22	*Swietenia macrophylla* G. King	Meliaceae
23	*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp	Fabaceae
24	*Citrus x sinensis* Osbeck	Rutaceae
25	*Machaerium millei* Moritz ex Turcz.	Fabaceae
26	*Myroxylon balsamum* (L.) Harms	Fabaceae
27	*Persea americana* Mill.	Lauraceae
28	*Inga sapindoides* Willd.	Fabaceae
29	*Syzygium jambos* (L.) Alston	Myrtaceae
30	*Vitex gigantea* Mill.	Lamiaceae

La concentración de individuos en la clase de altura II (11–20 m) indica que el bosque está compuesto por árboles en etapa intermedia de desarrollo, lo cual podría estar relacionado con una fase de recuperación natural posterior a alguna perturbación antrópica o natural, como se muestra en la figura 2. Esta distribución contrasta con la de (29), quienes encontraron mayor concentración en alturas menores, lo que puede estar vinculado a diferencias en el tipo de bosque, manejo o historia de uso del suelo.

Respecto al diámetro, la mayoría de los individuos se ubicaron en la clase I (0–10 cm), lo que refuerza la idea de un bosque en regeneración o con escasa intervención silvicultural, con predominio de individuos jóvenes, como se visualiza en la figura 3. Este patrón también fue observado por (30) en bosques húmedos tropicales, lo cual podría ser una característica común en formaciones secundarias o áreas donde la regeneración natural aún está en desarrollo.

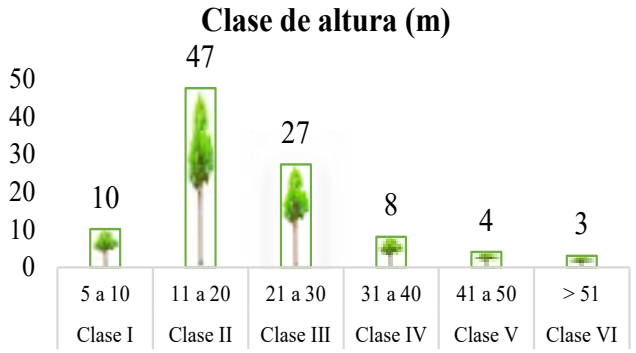


Figura 2. Comparación de clases altimétricas según la composición arbórea

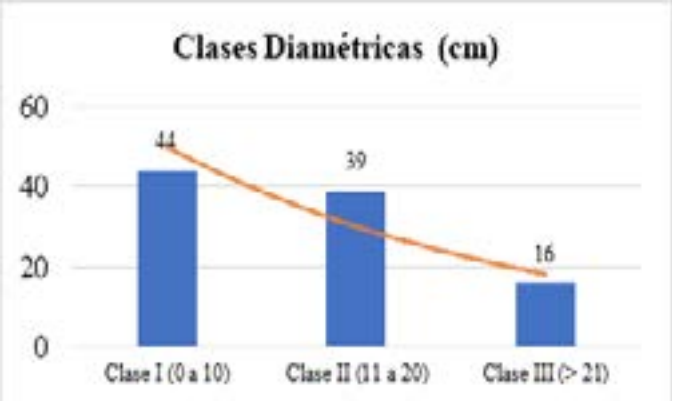


Figura 3. Estructura por clases diamétricas de la comunidad arbórea

Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE), como Sassafras albidum, Cordia eriostigma y Cordia alliodora, son indicativas de su papel dominante y funcional dentro del ecosistema. Esta composición difiere de la registrada por (31), lo que podría explicarse por las diferencias en condiciones edafoclimáticas, tipo de bosque (ribereño vs. semihúmedo), altitud y presión antrópica (Tabla 2).

Tabla 2. IVIE de las especies en la comunidad Guayacán.

Nº	Nombre científico	IVIE (100%)
1	*Sassafras albidum* (Nutt.) Nees	11,45
2	*Cordia eriostigma* Pittier	9,83
3	*Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Cham	7,37
4	*Castilla elástica* Cerv.	5,19
5	*Jacaranda mimosifolia*	4,75
6	*Triplaris cumingiana* Fisch. y CA Mey	5,71
7	*Mangifera indica* Wall.	4,58
8	*Cecropia máxima* Snethl.	4,12
9	*Gustavia serrata S.A.Mori*	3,71
10	*Erythrina velutina* Willd.	3,68
11	*Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng.	3,65
12	*Nectandra* spp.	4,55
13	*Cedrela montana* Moritz ex Turcz.	3,45
14	*Inga fendleriana* Benth.	2,57
15	*Guazuma ulmifolia* Lam.	2,51
16	*Schizolobium parahybum* (Vell.) S.F.Blake	2,43
17	*Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd.	2,22
18	*Miconia quadripara*	2,08
19	Machaerium millei Moritz ex Turcz.	1,62
20	*Cupania cinérea* Poepp. & Endl.	2,12
21	*Inga spectabilis* (Vahl) Willd.	1,57
22	*Myroxylon balsamum* (L.) Harms	1,40
23	*Citrus x sinensis* Osbeck	1,36
24	*Vitex gigantea* Mill.	1,32
25	*Pithecellobium arboreum* (L.) Urb.	1,25
26	*Inga sapindoides* Willd.	1,24
27	*Swietenia macrophylla* G. King	1,19
28	*Syzygium jambos* (L.) Alston	1,09
29	*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.	1,01
30	*Persea americana* Mill.	0,97
	TOTAL	100

El índice de Shannon-Wiener (H' = 4,39) evidenció una alta diversidad específica, lo que sugiere una comunidad ecológica estructurada y relativamente estable (Tabla 3). No obstante, el índice de Simpson (D = 0,94) indica que, a pesar de la diversidad, hay especies con fuerte dominancia que podrían estar limitando la equitatividad. Esta situación también ha sido observada por (32), aunque con valores más bajos, lo cual podría deberse a las diferencias en los niveles de intervención y conservación entre sitios. Por su parte, el índice de Margalef (6,31) señala una diversidad alta, aunque inferior a estudios como el de (33), quien reportó valores superiores en bosques con menor presión antrópica.

Tabla 3. Resumen del cálculo de los índices Shannon-Wiener, Simpson y Margalef.

Índice de Shannon-Wiener	Índice de Simpson	Índice de Margalef
4,39	0,94	6,31

CONCLUSIONES

El estudio en el bosque semihúmedo de la comunidad Guayacán permitió identificar una composición arbórea diversa, conformada por 30 especies nativas distribuidas en 16 familias botánicas, muchas de ellas características de los bosques secos del Ecuador. La predominancia de especies propias del ecosistema local refleja un buen estado de conservación y una riqueza florística significativa. Estos resultados no solo confirman el valor ecológico del área, sino que también proporcionan una base técnica sólida para orientar acciones de conservación, restauración ecológica y planificación del manejo forestal sostenible. Además, los datos generados constituyen un insumo valioso para futuras investigaciones en ecología, biodiversidad y dinámica de bosques estacionales.

En cuanto a la estructura horizontal, las clases diamétricas de las especies presentaron una distribución en forma de "J" invertida, destacando la clase I (0-10 cm) con el mayor número de individuos, lo que sugiere un predominio de árboles jóvenes. En la estructura vertical, la clase II (11-20 m) fue la más representativa, concentrando árboles de mayor altura.

Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE) fueron Sassafras albidum (Nutt.) Nees, Cordia eriostigma Pittier, y Cordia alliodora (Ruiz y Pav.) Cham., reflejando su relevancia en el ecosistema.
Los índices de diversidad indicaron resultados diversos: el Índice de Shannon-Wiener y el Índice de Margalef evidenciaron una alta diversidad de especies arbóreas, mientras que el Índice de Simpson representó una diversidad media, influenciada por la dominancia de ciertas especies.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Ecuador por el apoyo en realización del trabajo de investigación con fines de titulación, así mismo al propietario de la finca donde se obtuvo la información del bosque para obtener los resultados.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

1. United Nations Environment Programme – World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). *El estado de la biodiversidad en América Latina y el Caribe* [Internet]. Cambridge (UK): UNEP-WCMC; 2016 [citado 2025 mar 4]. Disponible en: https://www.cbd.int/gbo/gbo4/outlook-grulac-es.pdf

2. Aguirre MZ, Rivera ME, Granda V. Productos forestales no maderables de los bosques secos de Zapotillo, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*. 2019; 26(2): 575-594. http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26204

3. Dutra AAP, Guimarães IC, Assis TO, Dalla E, Toledo PM, Oliveira Santos RA, Batistella M, Coelho AS, Salvaje EK, Oliveira Cruz LE, Nobre CA, Ometto JPH. Escenarios de emisiones por cambios en el uso del suelo: anticipando un proceso de transición forestal en la Amazonía brasileña. *Biología del cambio global.* 2016; 22(5):1821-1840. https://doi.org/10.1111/gcb.13134

4. Bravo VE. *La biodiversidad en el Ecuador* [tesis de grado en Internet]. Cuenca (EC): Universidad Politécnica Salesiana; 2014 [citado 2025 mar 4]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6788

5. Lizano-López, Marvin. Estructura horizontal de seis especies de árboles maderables en bosques intervenidos de la Zona Norte de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú.* 2018; 15(36), 2-8. https://doi.org/10.18845/rfmk.v15i36.3429

6. Aguirre, Zhofre, Reyes, Byron, Quizhpe, Wilson, Cabrera, Alex. Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*. 2017; 24(2): 543-556. https://doi.org/10.22497/785

7. Maldonado, Sandra, Herrera, Clemencia, Gaona, Telmo, Aguirre, Zhofre. 2018. Estructura y composición florística de un bosque siempreverde montano bajo en Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa.* 2018; 25(3): 615-630. http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25306

8. PDOT La América. P*lan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019–2023 – Parroquia La América* [Internet]. La América (EC): PDOT La América; 2023 [citado 2025 mar 4]. Disponible en: https://laamerica.gob.ec/media/laamerica/rendicion_archivos/America_Final_PDOT1.pdf

9. Araujo RO, Lucena EMP, Sampaio V, Bonilla OH, Pinheiro LF. Levantamento Florístico do Jardim Botânico de São Gonçalo do Amarante, Ceará, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira De Geografia Física.* 2020; 13(3): 1162–1176. https://doi.org/10.22497/785

10. Missouri Botanical Garden. (s.f.). Tropicos. https://www.tropicos.org

11. Aguirre MZH. *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador* [Internet]. Quito (EC): MAE/FAO–Finlandia; 2012 [citado 2025 mar 14]. p. 162–187. Disponible en: https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/21/14042335632720/especies_forestales_bosques_secos_del_ecuador.pdf

12. Valverde-Otárola JC, Quesada R, Soto C, Arias D. Validación de un protocolo fotográfico para la digitalización de muestras de herbario de especies tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.* 2020; 14(2): 282–294. https://doi.org/10.14483/23448350.15362

13. Alberdi I, Sandoval V, Condes S, Cañellas I, Vallejo R. El Inventario Forestal Nacional español, una herramienta para el conocimiento, la gestión y la conservación de los ecosistemas forestales arbolados. *Ecosistemas*. 2016; 25(3):88-97. https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.10

14. Pintado CSE, Astudillo DF. *Inventario forestal y estimación de la captura del carbono en los cuatro parques urbanos y en las riberas de los ríos Santa Bárbara y San Francisco en la zona turística del cantón Gualaceo* [tesis de grado en Internet]. Cuenca (EC): Universidad Politécnica Salesiana; 2021. Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21116

15. Mostacedo B, Fredericksen T. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal [Internet]. Santa Cruz (BO): Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR); 2000. Disponible en: http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf

16. Bravo PD, Ganchozo M, Mero O, Pinargote J, Cabrera C. Análisis estructural de la vegetación arbórea en la finca "El Despeño" de la Comunidad Balsa Tumbada Adentro, Junín, Manabí, Ecuador. *Revista De Investigación Talentos*. 2024; 11(1):47-63. https://doi.org/10.33789/talentos.11.1.196

17. Tricone F, Anderson TR. Guía para la instalación de parcelas de monitoreo de vegetación. 2019. Comunidad de arendizaje del manejo del fuego. https://www.camafu.org.mx/guia-para-la-instalacion-de-parcelas-de-monitoreo-de-vegetacion/

18. Quintero LNM. *Caracterización florística del bosque húmedo tropical de la parroquia de Chontaduro, sector Iluve, cantón Río Verde, provincia de Esmeraldas* [tesis de grado en Internet]. Quito (EC): Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Gestión Ambiental; 2019. Disponible en: https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/37502

19. Lamprecht H. 1999. *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Biblioteca digital Instituto forestal. 335 p. https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1232

20. Marín MK, Agudelo ME, Torres A. Caracterización florística de la Reserva Natural de la Sociedad Civil Covadonga, Cundinamarca, Colombia. Boletín Científico. Centro de Museos. *Museo de Historia Natural.* 2021; 25(2):13-29. https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.2.1

21. Salazar VM, Vallejo F, Salazarl F. Inventarios e índices de diversidad agrícola en fincas campesinas de dos municipios del Valle del Cauca, Colombia. *Entramado*. 2019; 15(2):264-274. http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.5744

22. Cabrera VC, Quiroz LM, Pilozo DS, González AJ, Briones AG. Análisis de la regeneración natural de las especies forestales del Jardín Botánico de la Universidad Técnica de Manabí. *Ab Intus.* 2022; 5(9):7-17. https://doi.org/10.5281/zenodo.6975372

23. Magurran AE. Índices de diversidad y modelos de abundancia de especies. In: Magurran AE, editor. *La diversidad ecológica y su medición* [Internet]. Dordrecht: Springer; 1988. p. 7–45. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0_2

24. Jiménez A, Gabriel J, Tapia M. Ecología forestal [Internet]. Quito (EC): Grupo Compas; 2017 [citado 2025 mar 14]. 141 p. Disponible en: https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2065/1/Ecologia%20Forestal.pdf

25. Barragán JP, Balseca CB. Caracterización del bosque húmedo primario de la Estación Biológica Pedro Franco Dávila, Provincia Los Ríos, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*. 2022; 16(1). https://doi.org/10.53591/cna.v16i1.1597

26. Salmerón LA, Geada G, Fagilde MDC. Propuesta de un índice de diversidad funcional: Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *Bosque (Valdivia).* 2017; 38(3): 457-466. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300003

27. González MM, Alonso Y, Urrutia I, Miñoso Y, Santana I, Luis J, González CM. Estructura y composición de encinares naturales en las Alturas de Pizarras del municipio de Viñales, Pinar del Río, Cuba. *Madera y bosques.* 2019; 25(2). https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521667

28. Cantos BEH. Estructura, composición florística y diversidad de especies del bosque semideciduo de tierras bajas del recinto Sasay, cantón Santa Ana [tesis de grado en Internet]. Jipijapa (EC): Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2020 [citado 2025 ene 14]. Disponible en: http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2289

29. Rojas MJ, Ramos PF, Castro MA, Pesca A, Vargas Y, Escobar L. Estructura y composición florística de bosques asociados a especies de Theobroma en la Amazonía colombiana. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 2021; 12(68):128-150. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1078

30. Mina GNB. *Evaluación de la composición y estructura del bosque húmedo tropical del sector Santa Rosa, valle de Sancán* [tesis de grado en Internet]. Jipijapa (EC): Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2020 [citado 2025 ene 16]. Disponible en: https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2222?mode=full

31. Escobar CMM, Mera FMP. *Composición y estructura del bosque de ribera en la parte media de la represa Poza Honda* [tesis de grado en Internet]. Jipijapa (EC): Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2021 [citado 2025 ene 4]. Disponible en: http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2660

32. Muñoz JEA, Ati Cutiupala GM, Londo JG, Vaca ML, Pintag CE. Estructura y composición de la diversidad florística del Bosque Siempreverde en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. P*olo del Conocimiento.* 2021; 6(11): 1440-1455.

33. Tejada CJL, Vega HL, Argueta C. Estructura y composición arbórea del bosque en la zona núcleo del Refugio de Vida Silvestre Puca, Lempira, Honduras. *TATASCÁN*. 2023; 31(1): 33–47. https://doi.org/10.5377/tatascan.v31i1.15936